

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**INDICADORES DE CALIDAD DE PLANTA EN VIVEROS FORESTALES
DEL ESTADO DE TAMAULIPAS**

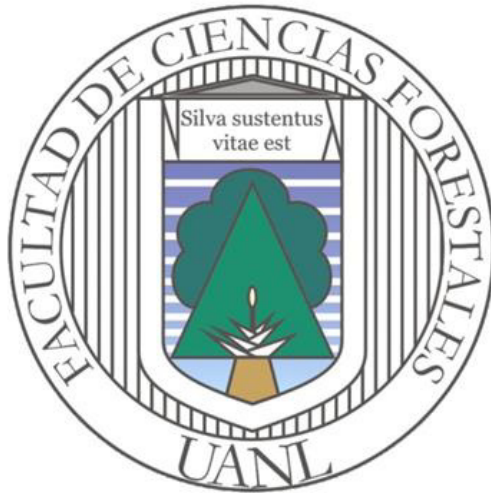
POR

ING. EDILBERTO MORALES PÉREZ

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

MAYO, 2018

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**



TESIS

**INDICADORES DE CALIDAD DE PLANTA EN VIVEROS FORESTALES
DEL ESTADO DE TAMAULIPAS**

POR

ING. EDILBERTO MORALES PÉREZ

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO

MAYO, 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

Indicadores de calidad de planta en viveros forestales del Estado de Tamaulipas.

Tesis de Maestria

**Que para obtener el grado de
Maestro en Ciencias Forestales**

Presenta:

Ing. Edilberto Morales Pérez

Comité de tesis:



Dr. Ricardo López Aguillón
PRESIDENTE



Dr. Marco Aurelio González Tagle
SECRETARIO



Dr. Javier Jiménez Pérez
VOCAL

Linares, Nuevo León, Mayo de 2018.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por concederme la oportunidad de concluir este trabajo y culminar una meta más en mi vida.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por el apoyo económico que me brindó para realizar mis estudios de maestría.

A la **Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL)**, a través de la **Facultad de Ciencias Forestales (FCF)**, por darme la oportunidad de realizar mis estudios y brindarme un apoyo incondicional durante mi estancia.

Al **Dr. Ricardo López Aguillón** por guiarme durante los años de estudios de maestría, por apoyar mi trabajo de investigación, sobre todo por compartir sus conocimientos y brindarme su amistad, gracias.

Al **Dr. Javier Jiménez Pérez** por su colaboración en análisis estadísticos, pero sobre todo por compartir sus conocimientos y aportes en la mejora del trabajo.

Al **Dr. Marco Aurelio González Tagle** por apoyar y aprobar el trabajo de investigación.

Al **Dr. Horacio Villalón Mendoza** por acompañarme en el proyecto y aprobar el trabajo de investigación.

A la **Unión de Silvicultores y Empresarios Forestales del Estado de Tamaulipas (USEFET A.C.)** por brindarme su apoyo incondicional durante los trabajos de campo y por facilitar el material vegetal para llevar a cabo la investigación.

DEDICATORIA

A **Ovin Morales** y **Ovando Morales** (+) por los valiosos consejos y recuerdos inquebrantables que motivaron el inicio de este proyecto. Les dedico este logro.

A mis padres, el Sr. **Edilberto Morales Pérez** y la Sra. **Favorina Pérez Roblero**, quien con amor me brindaron su apoyo, consejos y motivación para conseguir esta meta.

A mis hermanos **Ener** y **Amibal**, que en la distancia estuvieron conmigo brindándome su apoyo, su cariño y su comprensión. A **Nely**, **Adavilma**, **Mayli**, **Ludi** y **Karla**, gracias por sus bendiciones.

A la familia **Correa González** que me brindaron apoyo, motivación y confianza. Gracias también por la amistad y por abrirme las puertas de su hogar y familia.

Dedicatoria especial a **Imelda Correa González** por brindarme su apoyo, comprensión, cariño, amor y confianza e incluso por su enorme corazón para darme ánimos y fuerzas para continuar en el camino a pesar de las adversidades, gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCIÓN	13
II. OBJETIVOS	15
2.1. General.....	15
2.2. Específicos.....	15
2.3. Hipótesis.....	15
III. REVISIÓN DE LITERATURA	16
3.1. Vivero forestal	16
3.2. Producción de planta en vivero	16
3.3. Semilla	17
3.4. Germinación	19
3.5. Prácticas culturales en vivero	20
3.5.1. Sustrato	20
3.5.2. Riego	21
3.6. Crecimiento de las plantas	22
3.7. Calidad de planta	23
3.8. Parámetros morfológicos que influyen en la calidad de planta	23
3.8.1. Altura de la planta.....	23
3.8.2. Diámetro del tallo a nivel del cuello	24
3.8.3. Biomasa.....	25
3.9. Índice de calidad de planta	25
3.9.1. Índice de robustez	26
3.9.2. Relación altura/Longitud de la raíz (R A/LR).....	26
3.9.3. Índice de calidad de Dickson.....	26
3.9.4. Relación biomasa de la parte aérea y biomasa de la parte radical	27
IV. METODOLOGÍA.....	28
4.1. Área de estudio	28
4.1.1. Localización y descripción	28

4.1.2.	Clima	29
4.1.3.	Suelo	29
4.1.4.	Vegetación	29
4.2.	Especies evaluadas.....	30
4.2.1.	<i>Tectona grandis</i>	30
4.2.2.	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	31
4.2.3.	<i>Gmelina arborea</i>	32
4.2.4.	<i>Pinus pseudostrobus</i>	32
4.2.5.	<i>Quercus virginiana</i>	33
4.3.	Sistema de muestreo	34
4.3.1.	Selección de plantas.....	34
4.3.2.	Características morfológicas evaluadas.....	35
4.4.	Determinación de calidad de planta.....	39
4.5.	Análisis de datos	41
4.6.	Construcción de modelos de regresión lineal	42
4.6.1.	Variables consideradas en la evaluación de plantas.....	42
4.6.2.	Función de relativización	42
4.6.3.	Criterios de selección de variables	43
4.6.4.	Criterio de significación	43
4.6.5.	Criterio de tolerancia	44
4.6.6.	Método de selección de variables	44
4.6.7.	Método de selección de variables aplicando la técnica de pasos sucesivos (stepwise)	45
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
5.1.	Proceso de producción de plantas en viveros evaluados.....	48
5.1.1.	Vivero Carlos Diez Gutiérrez Coleman, Cd. Victoria Tamaulipas.	48
5.1.2.	Vivero Aldama, Aldama, Tamaulipas	50
5.2.	Calidad de planta en el vivero forestal Carlos Diez Gutiérrez Coleman, Cd. Victoria, Tamaulipas.	52
5.2.1.	<i>Pinus pseudostrobus</i>	52
5.2.2.	<i>Quercus rubra</i>	54
5.2.3.	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	55
5.2.4.	<i>Gmelina arborea</i>	57
5.3.	Calidad de planta en el vivero forestal de Aldama, Aldama, Tamaulipas	58

5.3.1.	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	58
5.3.2.	<i>Tectona grandis</i>	60
5.3.3.	<i>Gmelina arborea</i>	61
5.4.	Comparación de la calidad en diferentes producciones de plantas a nivel de vivero.....	63
5.4.1.	Vivero Carlos Diez, Cd. Victoria, Tamaulipas	63
5.4.2.	Vivero Aldama, Aldama, Tamaulipas	66
5.5.	Construcción de modelos de regresión lineal	68
5.5.1.	<i>Pinus pseudostrobus</i>	68
5.5.2.	<i>Quercus rubra</i>	76
5.5.3.	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	83
5.5.4.	<i>Gmelina arborea</i>	89
VI.	CONCLUSIÓN.....	96
VII.	REFERENCIAS	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores para determinar la calidad de planta	40
Tabla 2. Variables para la construcción de los modelos	42
Tabla 3. Características del riego realizado por la USEFT.....	49
Tabla 4. Características del riego realizado por la USEFT.*.....	50
Tabla 5. Características del riego realizado por la USEFT.*	52
Tabla 6. Características del riego realizado por la USEFT.....	52
Tabla 7. Valores medios de calidad morfológica para <i>P. pseudotrobus</i>	53
Tabla 8. Valores medios de calidad morfológica para <i>Q. rubra</i>	54
Tabla 9. Valores medios de calidad morfológica para <i>E. camaldulensis</i>	56
Tabla 10. Valores medios de calidad morfológica para <i>G. arborea</i>	57
Tabla 11. Valores medios de calidad morfológica para <i>E. camaldulensis</i>	59
Tabla 12. Valores medios de calidad morfológica para <i>T. grandis</i>	60
Tabla 13. Valores medios de calidad morfológica para <i>G. arborea</i>	62
Tabla 14. Prueba de Test de Shapiro-Wilk	68
Tabla 15. Variables introducidas/eliminadas	69
Tabla 16. Resumen del modelo	70
Tabla 17. Resumen del ANOVA	70
Tabla 18. Coeficientes de regresión.....	71
Tabla 19. Prueba de Test de Shapiro-Wilk	72
Tabla 20. Variables introducidas/eliminadas	73
Tabla 21. Resumen del modelo	73
Tabla 22. Resumen del ANOVA	74
Tabla 23. Coeficientes de regresión.....	75
Tabla 24. Prueba de Test de Shapiro-Wilk	76
Tabla 25. Variables introducidas/eliminadas	77
Tabla 26. Resumen del modelo	78
Tabla 27. Resumen del ANOVA	78
Tabla 28. Coeficientes de regresión.....	79
Tabla 29. Prueba de Test de Shapiro-Wilk	80
Tabla 30. Variables introducidas/eliminadas	80
Tabla 31. Resumen del modelo	81
Tabla 32. Resumen del ANOVA	82
Tabla 33. Coeficientes de regresión.....	83

Tabla 34. Prueba de Test de Shapiro-Wilk	83
Tabla 35. Variables introducidas/eliminadas	84
Tabla 36. Resumen del modelo	84
Tabla 37. Resumen del ANOVA	85
Tabla 38. Coeficientes de regresión.....	86
Tabla 39. Prueba de Test de Shapiro-Wilk	86
Tabla 40. Variables introducidas/eliminadas	87
Tabla 41. Resumen del modelo	87
Tabla 42. Resumen del ANOVA	88
Tabla 43. Coeficientes.....	89
Tabla 44. Prueba de Test de Shapiro-Wilk	89
Tabla 45. Variables introducidas/eliminadas	90
Tabla 46. Resumen del modelo	90
Tabla 47. Resumen del ANOVA	91
Tabla 48. Coeficientes de regresión.....	91
Tabla 49. Prueba de Test de Shapiro-Wilk	92
Tabla 50. Variables introducidas/eliminadas	93
Tabla 51. Resumen del modelo	93
Tabla 52. Resumen del ANOVA	94
Tabla 53. Resumen del ANOVA	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de viveros forestales de la USEFT A.C. en el estado de Tamaulipas	28
Figura 2. Selección y extracción de plantas de las subpoblaciones	35
Figura 3. Medición de altura total de la plántula	36
Figura 4. Medición de diámetro al cuello de la raíz	36
Figura 5. Medición de longitud parte aéreo.....	37
Figura 6. Medición de longitud parte radicular.....	37
Figura 7. Proceso de obtención de biomasa seca.....	38
Figura 8. Valores medios de los indicadores morfológicos para <i>P. pseudostrobus</i>	53
Figura 9. Valores medios de los indicadores morfológicos para <i>Quercus rubra</i>	55
Figura 10. Valores medios de los indicadores morfológicos para <i>E. camaldulensis</i>	56
Figura 11. Valores medios de los indicadores morfológicos para <i>G. arborea</i>	58
Figura 12. Valores medios de los indicadores morfológicos para <i>E. camaldulensis</i>	59
Figura 13. Valores medios de los indicadores morfológicos para <i>T. grandis</i>	61
Figura 14. Valores medios de los indicadores morfológicos para <i>G. arborea</i>	62
Figura 15. Comparación de medias de Índice de Calidad de Dickson, para <i>P. pseudostrobus</i>	63
Figura 16. Comparación de medias de Índice de Calidad de Dickson	64
Figura 17. Comparación de medias de Índice de Calidad de Dickson	65
Figura 18. Comparación de medias de Índice de Calidad de Dickson	65
Figura 19. Comparación de medias de Índice de Calidad de Dickson	66
Figura 20. Comparación de medias de Índice de Calidad de Dickson	67
Figura 21. Comparación de medias de Índice de Calidad de Dickson	67

RESUMEN

En este estudio se evaluó la calidad de planta de las especies *Eucalyptus camaldulensi*, *Gmelina arbórea*, *Pinus pseudostrobus* y *Quercus rubra* producidas en los viveros forestales de Aldama y Tamatan del estado de Tamaulipas. Se obtuvieron las medidas morfológicas de las plantas (altura, diámetro del cuello de la raíz, longitud aérea, longitud parte radicular, biomasa en seco de la parte aérea y del sistema radicular) y se calcularon los índices de robustez, índice de calidad de Dickson, relación altura/longitud de raíz y relación biomasa seca aérea/biomasa seca raíz. Así mismo, se hizo la comparación de medias de los índices de calidad de Dickson para ver si existe o no diferencias significativas entre la primera y segunda producción de plantas en los diferentes viveros. Se crearon modelos de regresión lineal múltiple para cada especie estudiada que permiten la predicción de los índices de calidad de robustez e índice de calidad de Dickson. Los resultados obtenidos en las evaluaciones de la calidad de planta indicaron que en el vivero de Tamatan las especies de *P. pseudostrobus* y *Q. rubra* son de calidad alta, calidad media para *G. arbórea* en ambos viveros, calidad media en el primera evaluación y alta en el segunda evaluación para la especie de *T. grandis* en el vivero de Aldama y calidad baja para *E. camaldulensis* producida en los dos viveros. No se mostró diferencias significativas entre la primera y segunda producción de las especies de *P. pseudostrobus* y *G. arbórea* en el vivero de Tamatan, debido a que el sistema de producción que se manejó en ambos años fue la misma, sin embargo, *Q. rubra* y *E. camaldulensis* si presentaron diferencias significativas. En el vivero de Aldama la producción de *E. camaldulensis*, *G. arbórea* y *T. grandis* presentaron diferencias significativas. Los modelos seleccionados para predecir la variable dependiente IR y ICD presentaron buen ajuste, con valores de $R^2 = 0.951$ y $R^2 = 0.941$ para *P. pseudostrobus*, $R^2 = 0.787$ y $R^2 = 0.982$ para *Q. rubra*, $R^2 = 0.989$ y $R^2 = 0.993$ para *E. camaldulensis*, $R^2 = 0.934$ y $R^2 = 0.939$ para *G. arbórea*.

Palabras clave: Vivero, Producción de planta, Calidad de planta, Índices, Modelos.

ABSTRACT

In this study, the plant quality of the species *Eucalyptus camaldulensi*, *Gmelina arborea*, *Pinus pseudostrobus* and *Quercus rubra* produced in the forest nurseries of Aldama and Tamatan of the state of Tamaulipas was evaluated. The morphological measures of the plants were obtained (height, diameter of the root neck, aerial length, root length, dry biomass of the aerial part and the root system) and robustness indices were calculated, Dickson quality index, relation height/length of root and relation dry aerial biomass/dry root biomass. Likewise, the comparison of means of the Dickson quality indices was made to see if there are significant differences between the first and second production of plants in the different nurseries. Multiple linear regression models were created for each species studied that allow the prediction of Dickson quality indexes of robustness and quality index. The results obtained in the evaluations of plant quality indicated that in the Tamatan nursery the species of *P. pseudostrobus* and *Q. rubra* are of high quality, average quality for *G. arborea* in both nurseries, average quality in the first evaluation and high in the second evaluation for the *T. grandis* species in the Aldama nursery and low quality for *E. camaldulensis* produced in the two nurseries. There were no significant differences between the first and second production of the species of *P. pseudostrobus* and *G. arborea* in the Tamatan nursery, because the production system that was handled in both years was the same, however, *Q. rubra* and *E. camaldulensis* did show significant differences. In the nursery of Aldama, the production of *E. camaldulensis*, *G. arborea* and *T. grandis* showed significant differences. The models selected to predict the dependent variable IR and ICD presented good adjustment, with values of $R^2 = 0.951$ and $R^2 = 0.941$ for *P. pseudostrobus*, $R^2 = 0.787$ and $R^2 = 0.982$ for *Q. rubra*, $R^2 = 0.989$ and $R^2 = 0.993$ for *E. camaldulensis*, $R^2 = 0.934$ and $R^2 = 0.939$ for *G. arborea*.

Keywords: Nursery, Plant production, Plant quality, Indices, Models.

I. INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales han sido utilizadas para resolver problemas económicos, sociales y ambientales; ya que pueden ser destinadas con fines comerciales, urbanos, agroforestales o de restauración (Rodríguez, 2008). Pero desafortunadamente, muchas veces tienden a fracasar debido a su mal manejo, condiciones ambientales desfavorables, empleo de especies inadecuadas y el uso de planta de mala calidad (UMA, 2003). Éste último, es uno de los factores determinantes para alcanzar el éxito de la repoblación y que muy pocas veces es tomado en cuenta. A la fecha, el concepto de calidad de planta lo emplean muchos viveristas y se basa principalmente en las características morfológicas y fisiológicas, las cuales permiten determinar su condición real, de tal manera que esos criterios permiten definir si las características que tienen las plantas les garantizará su supervivencia y crecimiento adecuado en función de las características del sitio específico de plantación (Rose *et al.*, 1990).

La calidad de planta se define como la capacidad que tienen las plantas para adaptarse y desarrollarse a las condiciones climáticas y edáficas del sitio de plantación, y depende de las características genéticas del germoplasma y de las técnicas utilizadas para su reproducción en vivero (Prieto *et al.*, 2009). Por otro lado Ramírez y Rodríguez (2004) consideran a la calidad de la planta en términos de las características morfológicas y fisiológicas que se logran con la aplicación de diversos tratamientos durante su producción en vivero. Sin embargo, la calidad de una planta la determina su capacidad para desarrollarse adecuadamente una vez plantada y condicionada por su origen genético y por las fases de producción, desde la colecta de semilla y la germinación hasta su establecimiento en una plantación (Prieto y Sáenz., 2011).

Muchas son las características de la planta que pueden medirse y la proporción de esas características se pueden calcular. Los atributos morfológicos comúnmente más medidos para determinar la calidad de la planta son en relación con la altura,

diámetro, relación diámetro/altura y características visuales de hojas o acículas, tallos y raíces (Quiroz *et al.*, 2009). En tanto que para los atributos fisiológicos se consideran la concentración de macronutrientes (Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio y Azufre) y micronutrientes (Fierro, Manganeso, Zinc, Cobre y Boro), los cuales se establecen para todas las plantas forestales.

En el estado de Tamaulipas, la actividad forestal está organizada por la Unión de Silvicultores y Empresarios Forestales de Tamaulipas (USEFT A.C.), la cual está integrada por cinco asociaciones. Estas cuentan con 4 viveros tecnificados con producción de plantas forestales, agroforestales, ornamentales, forrajeras, así como también cítrícolos.

Los viveros forestales de Aldama y Carlos Diez (Cd. Victoria) de la USEFT A.C. producen plantas forestales de alto valor comercial, destinadas a plantaciones forestales comerciales. Sin embargo, se carece de información de la calidad de planta que se obtiene al momento de salir del vivero y previo a su establecimiento en el área de plantación. Ante ello es importante evaluar las características morfológicas de las plantas, en razón de saber los índices, que permita determinar los indicadores de calidad de la planta en los viveros forestales de Aldama y Carlos Diez del estado de Tamaulipas.

En la presente investigación se describen y analizan los indicadores de calidad de planta de las especies *Tectona grandis* (Teca), *Gmelina arborea* (melina), *Eucalyptus camaldulensis* (eucalipto), *Pinus pseudostrobus* (pino blanco) y *Quercus rubra* (encino). A sí mismo, se hace la comparación de los indicadores morfológicos en dos evaluaciones de producción. Por último, la construcción de modelos de regresión que permitan estimar la calidad de planta de las especies evaluadas.

II. OBJETIVOS

2.1. General

Evaluar la calidad de planta que se producen en dos viveros forestales de la Unión de Silvicultores y Empresarios Forestales del estado de Tamaulipas A.C.

2.2. Específicos

Obtener los indicadores morfológicos a nivel de especie de las plantas que producen en los viveros forestales de la USEFT A.C.

Comparar los indicadores morfológicos en dos evaluaciones de producción a nivel de vivero y especie.

Construir modelos de regresión lineal que permitan estimar los índices de la calidad de planta en vivero.

2.3. Hipótesis

La evaluación morfológica de las plantas que se producen en los viveros forestales de Tamaulipas determinará si cumplen con los índices de calidad de planta.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Vivero forestal

Un vivero es el terreno, la superficie, la zona elegida y digna de ser destinada a la multiplicación y cuidado de las plantas hasta que éstas adquieran el vigor y desarrollo suficiente para que puedan ser plantadas en otro lugar (Foucard, 1997). De manera específica, puede considerarse que es la producción de vegetales, de plantas perennes y leñosas, al aire libre (Fernández, 2002). Los viveros pueden ser permanentes o transitorios (temporales) dependiendo del tiempo de funcionamiento.

3.2. Producción de planta en vivero

Los viveros de especies forestales cobran cada día más importancia, tanto en la restauración de ecosistemas forestales, como en el establecimiento de plantaciones comerciales, la dasonomía urbana o los sistemas agroforestales, por ende, contribuyen a la reducción de problemas ecológicos y económicos de la sociedad. Independientemente que las plantas sean producidas en viveros tradicionales o tecnificados, en bolsa, en contenedor o a raíz desnuda, un concepto clave es la calidad de planta (Rodríguez, 2008).

La producción de planta en vivero se considera como la base esencial y punto de partida de programas de reforestación y plantaciones para diversos fines como lo son producción de bienes, servicios a la comunidad, siempre con el fin de mantener el equilibrio del ambiente (Wightman y Santiago, 2003).

El propósito fundamental de un vivero es la producción de plantas de calidad, por lo que, es en el vivero donde se les proporcionan los cuidados necesarios durante el cultivo y manejo hasta que pueda ser trasplantada a su ubicación definitiva (Nicolas y Roche-Hamon, 1988).

Para producir plantas con los atributos morfológicos y fisiológicos apropiados, es necesario que en las prácticas de manejo se consideren las características de la planta que se desea producir y las condiciones del sitio de plantación (Prieto *et al.*, 2004). Sin embargo, el control de calidad de plántulas de vivero debe no solo evaluar el potencial de supervivencia y desempeño futuro del material a plantar, también debe intentar conocer cuáles son las causas de la buena y mala calidad del material, para poder desarrollar un programa de control y mejoramiento en el vivero.

Las causas u orígenes de la calidad se deben a dos aspectos principales: calidad de la semilla (aspecto genético) y calidad del manejo del material en vivero (aspecto silvicultural u ambiental) (Sánchez y Murillo, 2004). Por lo tanto el enfoque de un vivero tiene que ser de acuerdo con la calidad física y genética de la planta y no, como desafortunadamente se ha vuelto muy común, lograr una “meta” en función de la “cantidad” de plantas producidas (Wightman y Santiago, 2003). La fase de vivero resulta esencial por ser el punto de partida, además de ser el único momento en el que es posible realizar un control sobre algunas variables del proceso que afectan a la producción de planta de calidad (Landis *et al.*, 1998).

3.3. Semilla

Una semilla es el resultado de la fertilización y maduración del óvulo (Patiño *et al.*, 1983). Sin embargo, de acuerdo con Camacho (1994), la semilla es el medio de reproducción sexual de las espermatofitas, gimnospermas, y angiospermas. El mismo autor menciona que la semilla es una estructura protectora por medio de la cual los embriones pueden dispersarse y permanecer latentes hasta que las condiciones se tornen favorables para su supervivencia.

La función principal de la semilla es la germinación, proceso por el cual una semilla colocada en un ambiente adecuado se convierte en una nueva planta con todos sus órganos. Durante este proceso el embrión se hincha y la cubierta

protectora (tegumento) se rompe y emerge la radícula de la planta desde la punta del hipocótilo. Esta raíz, que se llama primaria, se fija al suelo y comienza su desarrollo. Posteriormente emerge el joven tallo de la planta (vástago) de la punta del hipocótilo. Por otro lado, los cotiledones pueden permanecer en el suelo o elevarse junto con el crecimiento del tallo. Cuando cumplen su función y alimentan a la joven plántula, los cotiledones se marchitan y caen (ICRAF, 2006).

Las partes básicas de una semilla son: el embrión, los tejidos de almacenamiento de alimentos y las cubiertas. Las características morfológicas de las semillas son variables; el tamaño, la forma y el color son propios de cada especie y difieren aun entre variedades (Patiño *et al.*, 1983).

El embrión es la parte de la semilla que al crecer da origen a una planta, y puede afirmarse inclusive que es una planta en miniatura. En las semillas maduras de algunas especies el embrión es rudimentario, o sea pequeño y poco diferenciado, mientras que en otras éste constituye la mayor parte de la semilla y posee una morfología bien definida (Curtis *et al.*, 2006). El embrión puede describirse como un eje que tiene una o más hojas modificadas llamadas cotiledones, y tiene en cada uno de sus extremos un meristemo, que es un punto de crecimiento (Patiño *et al.*, 1983).

Los tejidos de reserva tienen la función de aportar los nutrientes necesarios para el crecimiento del embrión durante la germinación. Las células de los tejidos de reserva pueden tener almidón, grasa o proteínas (Patiño *et al.*, 1983), mientras que las cubiertas de las semillas pueden consistir en los tegumentos, los remanentes de la nucela y del endospermo y a veces, partes del fruto.

Las cubiertas de las semillas o testas, tienen la función de la protección mecánica al interior para hacer posible su manejo en el almacenamiento y transporte. Las cubiertas se modifican durante el desarrollo, de manera que en la madurez presentan un aspecto característico. Las propiedades de la cubierta externa de la

semilla pueden ser muy características de la familia a que pertenece la planta (Patiño *et al.*, 1983).

3.4. Germinación

La germinación es el proceso por el cuál la semilla que estaba en estado de latencia pasa a dar vida a una planta, es decir, una semilla se desarrolla hasta convertirse en una nueva planta. Para que esto ocurra es necesario que se presenten algunos factores externos como la humedad, disponibilidad de oxígeno que permita la respiración y una temperatura adecuada para el inicio de los distintos procesos metabólicos. Las semillas jóvenes germinan rápidamente, las semillas viejas por el contrario, germinan lenta e irregularmente, por ello suelen conducir al fracaso cuando se les emplea, aun cuando las condiciones de temperatura sean las propicias (Pierre, 1988).

Una semilla es buena cuando tiene facultad germinativa, es decir, el poder de germinar si se la coloca en condiciones convenientes. Las semillas pierden esta facultad con la edad y más rápidamente cuando su conservación es defectuosa (Rodríguez, 2007).

Para que la semilla germine requiere de una cantidad suficiente de humedad para pasar de 10 al 18% que contiene regularmente para su germinación. Las semillas más pequeñas absorben la humedad con mayor rapidez (Fernández, 2002). La humedad previa a la germinación no debe prolongarse demasiado, debido a que la humedad excesiva impide la aireación de la que necesitan, y puede provocar su pudrición, sobre todo con temperaturas poco elevadas. Mientras que la radícula del embrión no esté desarrollada, la semilla no toma del medio que le rodea más alimento que el agua (Fernández, 2002).

3.5. Prácticas culturales en vivero

El ambiente de un vivero es la composición de su ubicación geográfica, del tipo de instalaciones para la propagación, y de las prácticas culturales (Landis *et al.*, 1995).

Un adecuado tratamiento en vivero requiere de la aplicación integrada y eficiente de un conjunto de técnicas relacionadas con el sustrato, envases, fertilizantes, micorrizas, riego, control de plagas, enfermedades y control de las condiciones ambientales (Prieto *et al.*, 2004).

Cuando se satisfacen los requerimientos condicionantes en el vivero y se ha hecho una adecuada preparación del sitio, la plantación y la protección en el terreno resultarán en un alto porcentaje de supervivencia y un rápido crecimiento de las plantas en campo (Duryea y Landis, 1984).

3.5.1. Sustrato

El término “sustrato”, se refiere a todo material sólido diferente del suelo que puede ser natural o sintético, mineral u orgánico y que colocado en contenedor de forma pura o mezclado, permite el anclaje de las plantas a través de su sistema radicular. El sustrato puede o no intervenir en el proceso de nutrición de la planta, clasificándolo así en químicamente inerte (perlita, lana de roca, roca volcánica, por ejemplo) y químicamente activo (como lo es la turba, la corteza de pino, el aserrín, fibra de coco, entre otros) (Pastor, 2000).

El sustrato de cultivo es el responsable de satisfacer los principales requerimientos funcionales de las plantas (agua, aire, nutrientes minerales y soporte físico) por ello es importante la selección de éste, ya que dependiendo de sus características físicas, químicas y biológicas, repercutirá en la producción de un sistema radical funcional, con buen anclaje, y que proporcione una buena capacidad de

almacenamiento de reservas y predisposición a la colonización en campo (García *et al.*, 2001).

La correcta elección de un sustrato es el resultado de las necesidades que exige el cultivo y todo ello condicionado por las prácticas y técnicas empleadas en cada vivero. No existe un sustrato ideal pues cada combinación dependiendo del tipo de especie, lugar, contenedor, tipo de manejo y duración del cultivo, nos puede generar en teoría, requerimientos diferentes al sustrato (Ansorena, 1994). Además, el hecho de que un sustrato pueda estar compuesto por un único material o una mezcla, hace necesario evaluar las propiedades físicas de los materiales utilizados, realizar ensayos de crecimiento o emplear modelos adecuados para asegurar las características deseadas en el sustrato (Heiskanen, 1993).

3.5.2. Riego

El riego es una de las prácticas culturales más importantes en la producción de planta, ya que ayuda a mantener un adecuado nivel del agua para que el crecimiento ocurra sin restricciones (Lopushinsky, 1990). El agua influye en la mayoría de los procesos fisiológicos, tales como la fotosíntesis, la respiración, la síntesis de compuestos químicos, la división y la elongación celular, el transporte de elementos esenciales y la termorregulación foliar de las plantas, procesos que dependiendo del nivel de estrés hídrico alcanzado, pueden afectar el rendimiento de las plantas (Rojas, 2003).

El 99% del agua que absorbe la planta se pierde en el proceso de transpiración (Alarcón, 2006). En cualquier momento, el contenido de agua de la planta refleja un balance integrado entre la absorción a través de las raíces, y las pérdidas por transpiración del follaje hacia la atmósfera (Ritchie, 1984). Esta diferencia entre la absorción de agua y la pérdida de humedad, crea tensión hídrica en la planta. En los viveros forestales que producen en contenedor, la tensión hídrica de las

plantas se mantiene a niveles bajos durante la etapa de cultivo, mediante el uso de riego para estimular el crecimiento (Landis *et al.*, 1989).

Las necesidades de agua de las plantas van a depender de la especie y su estado fenológico, del medio de cultivo y de las condiciones ambientales; además de la existencia de especies de bajo consumo y otras de consumo hídrico superior, en función de su número y reparto de estomas, el espesor y permeabilidad de su cutícula, así como la superficie foliar. (Lopushinsky, 1990).

El estado del agua en las plantas puede ser descrito en varias formas distintas: contenido de humedad, potencial hídrico, y movimiento del agua. Probablemente las mediciones más útiles del estado del agua en las plantas, son el contenido de humedad y el potencial hídrico (Salisbury y Ross, 1994).

3.6. Crecimiento de las plantas

El crecimiento de las plantas está determinado por la actividad de células meristemáticas que se encuentran en los ápices de tallos y raíces. Los tejidos meristemáticos proveen una forma de adaptación al mantener un reservorio de células no diferenciadas, con características embrionarias, lo que le da una gran plasticidad al desarrollo de las plantas (Bidwell, 2002; Pimienta *et al.*, 2006).

El crecimiento ocurre cuando se forman nuevas células y tejidos mediante división celular. Y la división celular ocurre en células meristemáticas y consiste en dos fases: la mitosis en la que se replican los cromosomas y se disponen en dos núcleos hijos, que son cualitativa y cuantitativamente idénticos y la citocinesis, en la que se divide la pared celular, el citoplasma y los organelos (Rojas, 1985; Curtis *et al.*, 2006).

3.7. Calidad de planta

La calidad de planta es aquella que posee ciertas propiedades morfológicas y fisiológicas que le permiten establecerse, crecer y desarrollarse vigorosamente en el sitio de plantación (Rodríguez, 2008). La calidad de planta es uno de los factores más importantes que condicionan el éxito de la plantación (Fernández, 2002).

Para evaluar la calidad de las plantas, se consideran atributos morfológicos y fisiológicos. Entre los atributos morfológicos se incluyen la altura, número de ramas, área foliar, color de follaje, diámetro del tallo a nivel del cuello, tamaño, forma y volumen del sistema radicular, en tanto que los atributos fisiológicos son: latencia, resistencia al frío, días para que la yema principal inicie su crecimiento, índice de mitosis, contenido de humedad, movimiento del agua, contenido de carbohidratos, tolerancia a sequía, fotosíntesis neta, micorrización y capacidad de emisión de nuevas raíces (Prieto *et al.*, 1999).

La calidad de planta puede hacerse a través del análisis individual de las variables antes mencionadas o mediante la interacción de más de un atributo como puede ser: relación altura/diámetro del cuello, relación altura del tallo /longitud de la raíz principal, o a través del índice de calidad de Dickson que relaciona el peso seco total de la planta y su altura, diámetro del cuello más el peso seco de la parte aérea y peso seco de sus raíces. (Prieto *et al.*, 1999).

3.8. Parámetros morfológicos que influyen en la calidad de planta

3.8.1. Altura de la planta

Una variable que aporta información muy valiosa y es fácil de medir, es la altura. Se ha determinado que existe correlación entre la altura al momento de plantación y supervivencia y el crecimiento uno o más años después en varias especies. (Rodríguez, 2008).

La altura de la planta también influye en su capacidad fotosintética, pero no permite predecir la sobrevivencia en forma clara. Plantas pequeñas tienen poca superficie para realizar fotosíntesis, lo que ocasiona que tengan menor crecimiento, mientras que plantas grandes tienen mayor superficie fotosintética y en teoría su crecimiento es mayor; sin embargo, la tasa de transpiración es alta y en condiciones de sequía tienen mayor riesgo de morir. Para evitar lo antes mencionado, es preferible considerar que la planta seleccionada en vivero tenga la altura que le permita competir y desarrollarse en campo (Prieto *et al.*, 2009).

Los valores de esta variable determinan midiendo la distancia desde el cuello de la raíz (punto donde termina la raíz y comienza el tallo) hasta la yema apical en general, la altura requerida para el establecimiento de especies forestales tropicales en el campo es de 15 a 30 centímetros (Santiago *et al.*, 2007).

Cuando las plantas tienen más de 40 centímetros de altura y aún permanecen en el contenedor del vivero, tienen menos probabilidades de sobrevivir en el campo, debido a que no tienen una proporción adecuada entre la raíz y la parte aérea, haciéndolas susceptibles al viento; además, requieren mayor humedad y tiempo para establecerse, en comparación con las plantas de menor tamaño y mayor diámetro (Santiago *et al.*, 2007).

3.8.2. Diámetro del tallo a nivel del cuello

El diámetro del tallo determina el desarrollo y conformación de las raíces, la resistencia al viento, a las deficiencias de humedad y al ataque de plagas y enfermedades, por lo que a mayor diámetro, la planta es más resistente y por consiguiente, tiene mayores posibilidades de sobrevivencia y desarrollo en el campo. El tamaño del diámetro varía de acuerdo a la especie, pero se obtienen tallos delgados cuando se tienen altas densidades de plantas, las cuales están determinadas por el tamaño del contenedor (Santiago *et al.*, 2007).

Se han encontrado que a mayor diámetro a la altura del cuello, mayor es la supervivencia en el sitio de plantación. Plantas con diámetro mayor a 5 mm soportan daños causados por animales e insectos y están mejor aisladas del calor en comparación con las de diámetro menor (Rodríguez, 2008).

3.8.3. Biomasa

La biomasa es la cantidad o volumen de materia seca presente en una planta; ésta puede ser aérea, subterránea o total; incluyendo en el primer caso las hojas, flores, frutos, puntas, ramas, y tronco; y en el segundo se incluye la raíz principal, raíces secundarias, y demás raíces existentes. La biomasa ha sido correlacionada con la supervivencia y crecimiento posterior de muchas especies, por diversos investigadores (Rodríguez, 2008).

A mayor cantidad de biomasa presente (considerando plantas con dimensiones similares), la probabilidad de sobrevivencia es mayor debido a la alta concentración de materia seca, aunque, también influye la concentración de la materia orgánica en la parte aérea y subterránea, debido a que no siempre está distribuido en cantidades similares.

3.9. Índice de calidad de planta

De acuerdo a Cetina *et al.* (1999), un índice de calidad es la combinación de dos o más parámetros morfológicos o fisiológicos que describe atributos abstractos de la planta como son el balance y la robustez, y representa el valor más cercano para predecir el rendimiento de la planta en campo, comparado con lo que pudiera determinar cualquier parámetro individual.

3.9.1. Índice de robustez

Este índice es conocido también como índice de esbeltez (Toral, 1997), y se define como la relación entre la altura de la planta (cm) y el diámetro (mm). Este índice se determina con la siguiente relación:

$$IR = \frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro cuello de la raíz(mm)}}$$

El mismo autor menciona que valores bajos del Índice de robustez están asociados a mejor calidad de planta, ya que es más robusta. En tanto que valores altos indican que la planta es más esbelta y menos fuerte, al existir desproporción entre la altura y el diámetro de la planta. El índice de robustez se recomienda que sea menor a seis.

3.9.2. Relación altura/Longitud de la raíz (R A/LR)

Predice el éxito de la plantación y debe existir equilibrio y proporción entre la parte aérea y el sistema radical de las plantas.

$$R\ h/\text{longitud raíz} = \frac{\text{Altura}}{\text{Longitu de la raíz}}$$

3.9.3. Índice de calidad de Dickson

Es un método propuesto por Dickson en 1960, en donde a mayor índice mejor calidad de planta. La ecuación para determinar el Índice de Calidad de Dickson (ICD) es (Dickson *et al.*, 1960):

$$ICD = \frac{\text{Peso seco total (g)}}{\frac{\text{Altura(cm)}}{\text{Diámetro(mm)}} + \frac{\text{Peso seco parte aérea(g)}}{\text{Peso seco raíz(g)}}$$

3.9.4. Relación biomasa de la parte aérea y biomasa de la parte radical

La comparación de la relación del crecimiento de la parte aérea y de la raíz, representa el balance entre el área de transpiración y el área de absorción de agua. Para determinar el cociente se utilizan los pesos secos de ambas partes; en este sentido, una planta de calidad debe tener un coeficiente de relación lo más bajo posible, de tal forma que se asegure su sobrevivencia en campo (Rodríguez, 2008).

$$R \text{ BSA/BSR} = \frac{\text{Biomasa seca aérea (g)}}{\text{Biomasa seca raíz (g)}}$$

IV. METODOLOGÍA

4.1. Área de estudio

El estudio se realizó en los viveros forestales de la Unión de Silvicultores y Empresarios Forestales de Tamaulipas A. C. (USEFT A.C.), en los viveros de Aldama (Aldama) y Carlos Diez (Cd. Victoria).

4.1.1. Localización y descripción

El vivero forestal Aldama se encuentra ubicado en el municipio de Aldama en las coordenadas geográficas 22°55'24.38" Latitud Norte y 98°04'27.05" Longitud Oeste, y el vivero Carlos Diez se ubica en Cd. Victoria en las coordenadas geográficas: 23°42'32.1" Latitud Norte y 99°10'34.9" Longitud Oeste (Figura 1).

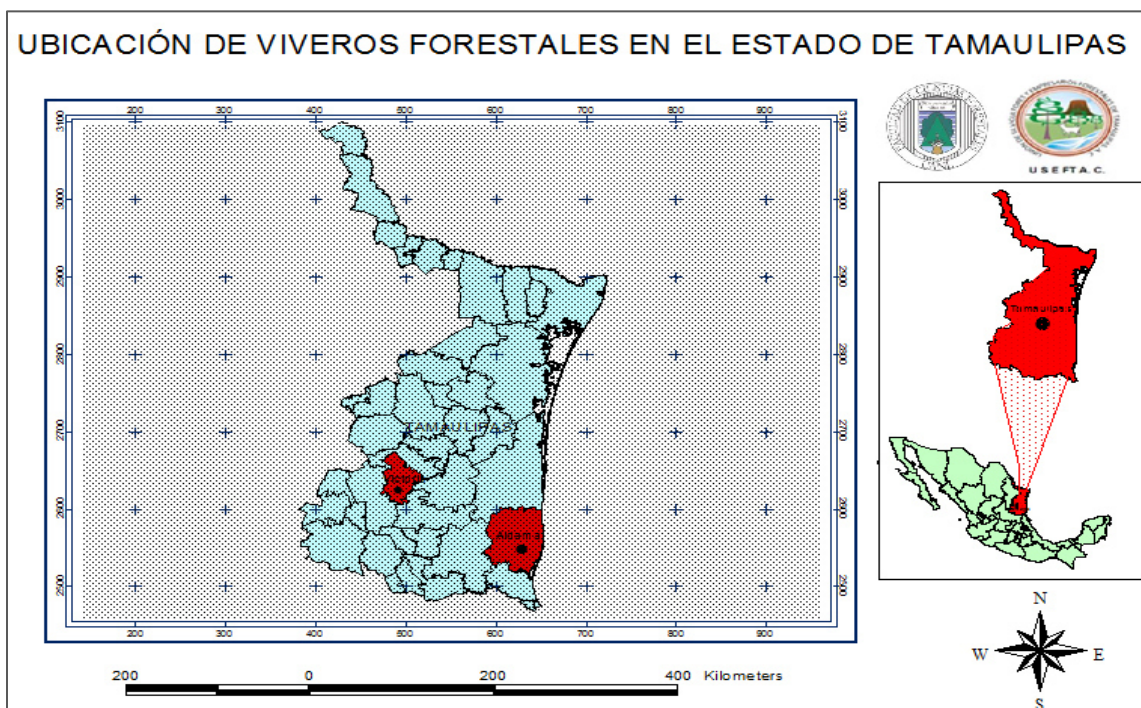


Figura 1. Ubicación de viveros forestales de la USEFT A.C. en el estado de Tamaulipas

4.1.2. Clima

Vivero forestal Aldama

Presenta un tipo clima (A)C(w1) correspondiente a semicálido subhúmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual entre de 18 - 26°C y precipitación media anual anual entre 900 - 1100 mm. (INEGI, 2005).

Vivero forestal Carlos Diez (Cd. Victoria)

Presenta un clima d tipo semicálido subhúmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual entre de 16 - 24°C y precipitación media anual entre 400 - 1100 mm. (INEGI 2005)

4.1.3. Suelo

Vivero forestal Aldama

Aldama se caracteriza por presentar los tipos de suelo Chernozem, Leptosol, Solonchak (INEGI, 2005).

Vivero forestal Carlos Diez (Cd. Victoria)

Presenta tipos de suelos Leptosol, Vertisol, Kastañozem, Regosol, Phaeozem Chernozem y Luvisol (INEGI, 2005).

4.1.4. Vegetación

Vivero forestal Aldama

De acuerdo a la fisiografía de Aldama, es representado por la llanura Costera del Golfo Norte, Llanuras y Lomeríos. El uso de suelo, es dominado por la agricultura y zona urbana, sin embargo, se presentan los tipos de vegetación de Selva y mezquital (INEGI, 2005).

Vivero forestal Carlos Diez (Cd. Victoria)

De acuerdo con la fisiografía la provincia es representada por la Sierra Madre Oriental y Llanura Costera del Golfo Norte. El uso de suelo, es dominado por la agricultura y zona urbana, sin embargo, se presentan los tipos de vegetación de bosque, matorral, selva y pastizal (INEGI, 2005).

4.2. Especies evaluadas

Las especies evaluadas, corresponden a la producción de septiembre 2013 (primera evaluación) y abril de 2014 (segunda evaluación) para el caso del vivero Carlos Diez, y para el vivero Aldama, la producción de abril 2014 (primera evaluación) y febrero del 2015 (segunda evaluación).

4.2.1. *Tectona grandis*

Tectona grandis (Teca) es una latifoliada de la familia *Verbenácea* que crece en bosques de tipo monzónico (lluvias intensas en verano) y húmedo tropical. Es un árbol caducifolio que presenta alturas de 20 a 30 m en plantaciones establecidas fuera de su origen, pero en su lugar natural alcanza los 50 m, es de fuste recto y su diámetro puede alcanzar hasta 2 m. Su corteza muerta es de color café o castaño claro, escamosa y presenta grietas superficiales; la corteza es blanquecida.

Las hojas son opuestas, grandes de 11 a 85 cm de largo y de 6 a 50 cm de ancho, color pecíolos limbo membranáceos o subcariáceos. Sus flores son pequeñas y actinomorfas, bisexuales, inconspicuas en inflorescencias de color lila y dispuestas en grandes panículas terminales (de 40 cm hasta 1.0 m de largo), erectas y ramificadas; cáliz gris con 6 lóbulos campanulados, corola con 6 lóbulos extendidos con sendos estambres epipétalos, ovario de 4 células, estilo delgado, estigma bilobular.

El fruto es una drupa de color castaño claro cuando madura, es subgloboso, más o menos tetrágono, aplanado; exocarpo delgado, algo carnososo cuando fresco y tomentoso; endocarpo grueso, óseo, corrugado con cuatro celdas que encierran generalmente 1 o 2 semillas de 5 mm de largo (Chávez y Fonseca, 1991; Fonseca, 2000).

4.2.2. *Eucalyptus camaldulensis*

Eucalyptus camaldulensis (Eucalipto) pertenece a la familia *Myrtaceae* y son árboles altos, perennifolios y aromáticos, originario de Australia Occidental, Victoria y Queensland. Es un árbol que crece de 20 a 50 m de altura. Tiene un tronco liso y de color gris o marrón claro, que muestra un aspecto manchado ocasionado por los muchos fragmentos de corteza que se le caen (Yáñez, 2004).

Las hojas juveniles son más anchas que las adultas, opuestas, alternas y pecioladas. Las hojas adultas son alternas péndulas falcadas, largamente acuminadas o bien oblongolanceoladas, verdes; miden de 10 a 23 cm de largo.

Las flores son blanquecinas, pequeñas, dispuestas en umbelas axilares de 3 a 25 flores, generalmente más de 8, con pedicelos largos y cilíndricos y el raquis o eje de la umbela no aplanado, de 1 a 3 cm de largo. Los estambres, todos fértiles, tienen los filamentos doblados en el botón floral; las antenas ovoides, tienen las tecas paralelas, de dehiscencia longitudinal, con el conectivo provisto de una glándula subapical.

Los frutos son hemisféricos, de 5 a 7 mm de diámetro, con el reborde convexo y bien notable, con 3 a 5 valvas triangulares exsertas. Las semillas son pequeñas, angulosas, de color amarillo dorado, lisas, brillantes, las estériles más oscuras y angostas (P&C Maderas, 2013).

4.2.3. *Gmelina arborea*

Gmelina arborea (Melina) pertenece a la familia de las *Verbenaceae*, es una especie forestal caducifolia de rápido crecimiento. Es nativa de India, Bangladesh, Sri Lanka, Myanmar, Tailandia, sur de China, Laos, Camboya y Sumatra en Indonesia. En las zonas secas, puede llegar a medir 30 m de altura y presentar más de 80 cm de diámetro. Crece usualmente con un fuste limpio de 6 hasta 9 m y con una copa cónica (Rojas, 2001).

Presenta una copa amplia en sitios abiertos, pero en plantación su copa es densa y compacta. Corteza lisa o escamosa, de marrón pálida a grisácea; en árboles de 6-8 años de edad se exfolia en la parte engrosada de la base del tronco y aparece una nueva corteza, de color más pálido y lisa. Presenta hojas que van de 10-20 cm de largo, simples, opuestas, enteras, dentadas, usualmente más o menos acorazonadas, de 10-25 cm de largo y 5-18 cm de ancho, decoloradas, el haz verde y glabra, el envés verde pálido y aterciopelado, nerviación reticulada, con nervios secundarios entre 3 y 6 pares y estípulas ausentes.

Las flores son numerosas, de una coloración amarillo-anaranjadas, en racimos, monoicas perfectas, cuya inflorescencia es un racimo o panícula cimosa terminal, cáliz tubular, corola con 4-5 sépalos soldados a la base del ovario, de color amarillo brillante, cáliz 2.5 cm de largo y 4 estambres.

El fruto es un fruto carnoso tipo drupa, de forma ovoide u oblonga, carnoso, succulento, con pericarpo coriáceo y endocarpo óseo, de color verde lustroso, tornándose amarillo brillante al madurar (Rojas y Murillo, 2004).

4.2.4. *Pinus pseudostrobus*

Pinus pseudostrobus (Pino blanco) Pertenece a la familia de las *Pinaceae*. Es un árbol perennifolio originario de México, Guatemala y Honduras. Alcanza alturas

que van de 40-45) m de alto y de 40 a 100 cm de diámetro (1.30 m); fuste generalmente recto.

Ramas horizontales a ascendentes formando una copa redondeada en los individuos maduros y abierta y cónica con ramas espaciadas en los jóvenes; ramillas casi lisas. Corteza lisa, delgada, de color café rojizo en la parte superior del fuste en los árboles jóvenes; en árboles maduros: gruesa, de color café, dividida en placas escamosas, separadas por fisuras verticales profundas. Madera de color amarillo pálido, medianamente suave pero resistente, ligeramente resinosa.

Hojas en grupos de 5, raramente 6, de 19 a 37 cm de longitud. Conos oblongos cónicos a largamente ovoides, ligeramente curvados, oblicuos, de 10 a 15 cm de largo, de color café opaco, en pares o solitarios sobre pedúnculos cortos que generalmente permanecen pegados a la ramilla después de caer el cono; escamas del cono delgadas, medianamente duras, con apófisis plana a ligeramente levantada.

Semillas pequeñas, de 5 a 8 mm de largo, de base ancha, de color café oscuro o café claro con manchas oscuras; ala articulada de 20 a 23 mm de largo (García y Gonzales, 2003).

4.2.5. *Quercus virginiana*

Quercus virginiana (Encino) es originaria de Estados Unidos y México. El árbol puede crecer a un promedio de 50 pies de altura y 36-48 pulgadas de diámetro, y hasta más de 70 pulgadas de diámetro. La corteza está surcada longitudinalmente, y las pequeñas bellotas son largas y afiladas. La corteza y ramas son oscuras a la luz de color grisáceo y oscurecen con la edad.

Las hojas son verde oscuro, brillante y grueso en la parte superior, más ligero por debajo. Pequeñas flores se producen cuando se cultivan las hojas nuevas.

La bellota es cerca de 1 pulgada de largo con una turbante en forma de copa y se redujo un poco en la base. Hay aproximadamente 352 bellotas por libra. Raíces y coronas de raíz sobreviven fuego y brotan vigorosamente (Haller, 1992).

4.3. Sistema de muestreo

En los viveros forestales de la USEFT A.C. se cultivan más de una especie, debido a esto, la producción de plantas se representó en subpoblaciones, y la elección de las muestras se realizó a través de un muestreo estratificado, en donde cada tipo especie de planta representa un estrato diferente.

Para seleccionar el número de charolas se determinó a partir de la relación propuesta por Prieto y Sáenz (2011):

$$n_p = \frac{E * C * 0.0015}{3}$$

Dónde:

n_p= Número de charolas a seleccionar por estrato.

E = Número de contenedores o cavidades que tiene la charola.

C = Total de charolas en el estrato.

0.0015 es la intensidad de muestreo (0.15 %).

3 es el número de plantas a extraer por charola.

4.3.1. Selección de plantas

En los viveros, la producción de plantas se dividió en subpoblaciones en donde cada subpoblación representó los tipos de especies. La selección de los

contenedores se hizo aleatoria de cada subpoblación y en cada contenedor se extrajeron tres plantas al azar (Figura 2).

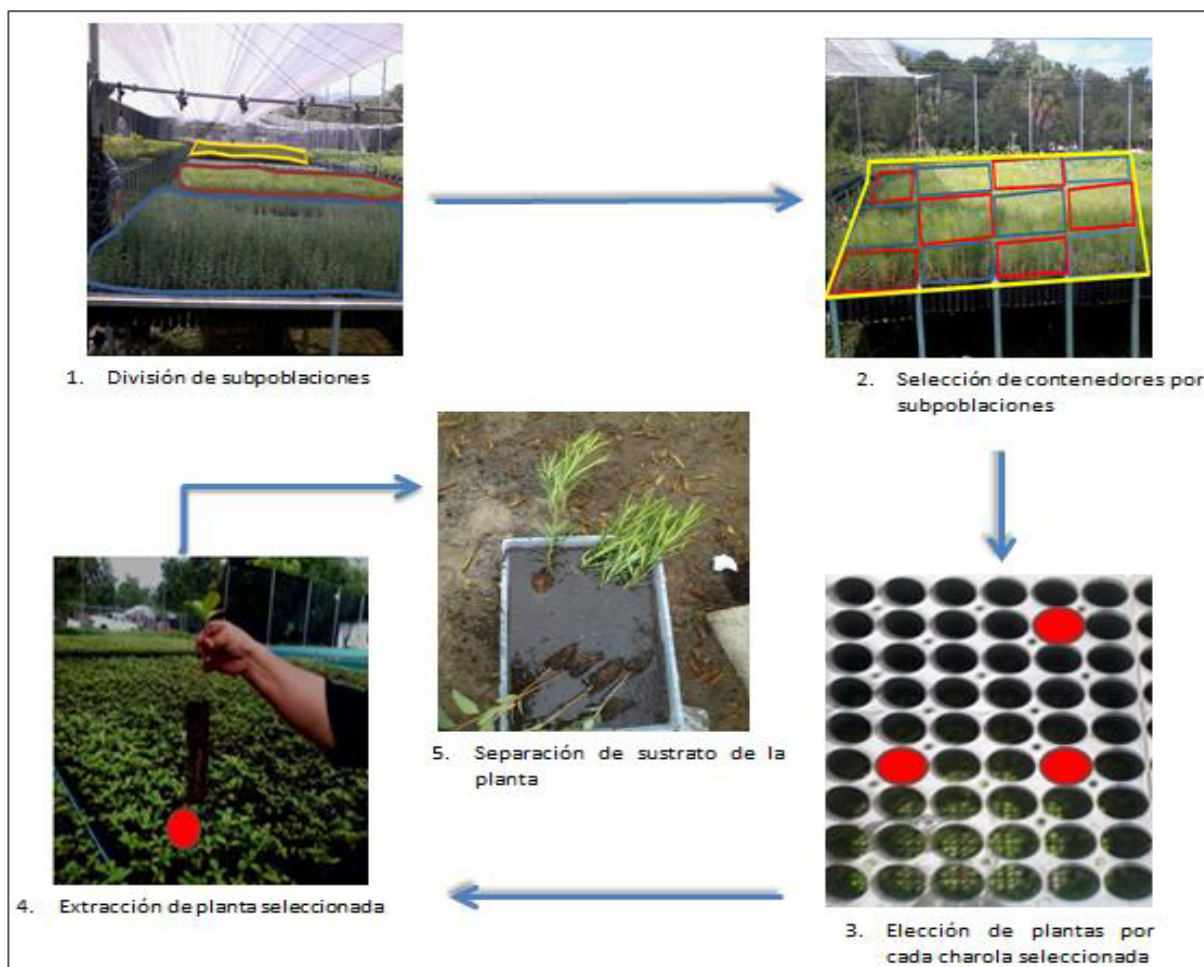


Figura 2. Selección y extracción de plantas de las subpoblaciones

4.3.2. Características morfológicas evaluadas

Las plantas que fueron seleccionadas se les hicieron la separación del sustrato y se obtuvieron las medidas de las siguientes características morfológicas:

Altura (cm).

Se midió con una regla graduada desde el cuello de la raíz hasta la yema de la planta (figura 3).



Figura 3. Medición de altura total de la plántula

Diámetro del cuello de la raíz (mm).

Se obtuvo con un vernier digital con precisión hasta décimas de mm. (Figura 4).



Figura 4. Medición de diámetro al cuello de la raíz

Longitud parte aéreo (cm).

Se midió con una regla graduada, desde inicio de la parte aérea hasta la yema de la planta (figura 5).



Figura 5. Medición de longitud parte aéreo

Longitud parte radicular (cm).

Se midió con una regla graduada, desde inicio de la parte radicular hasta la raíz terminal (figura 6).



Figura 6. Medición de longitud parte radicular.

Biomasa en seco de la parte aérea y del sistema radical.

Una vez obtenido el peso húmedo, ambas partes de la planta se empacaron en bolsas de papel estraza con su respectivo registro (vivero y especie), mismas que se pusieron a secar durante 72 horas a 70°C en una estufa de secado. Después de este periodo se obtuvo el peso de cada parte de la planta con una báscula digital (Figura 7).

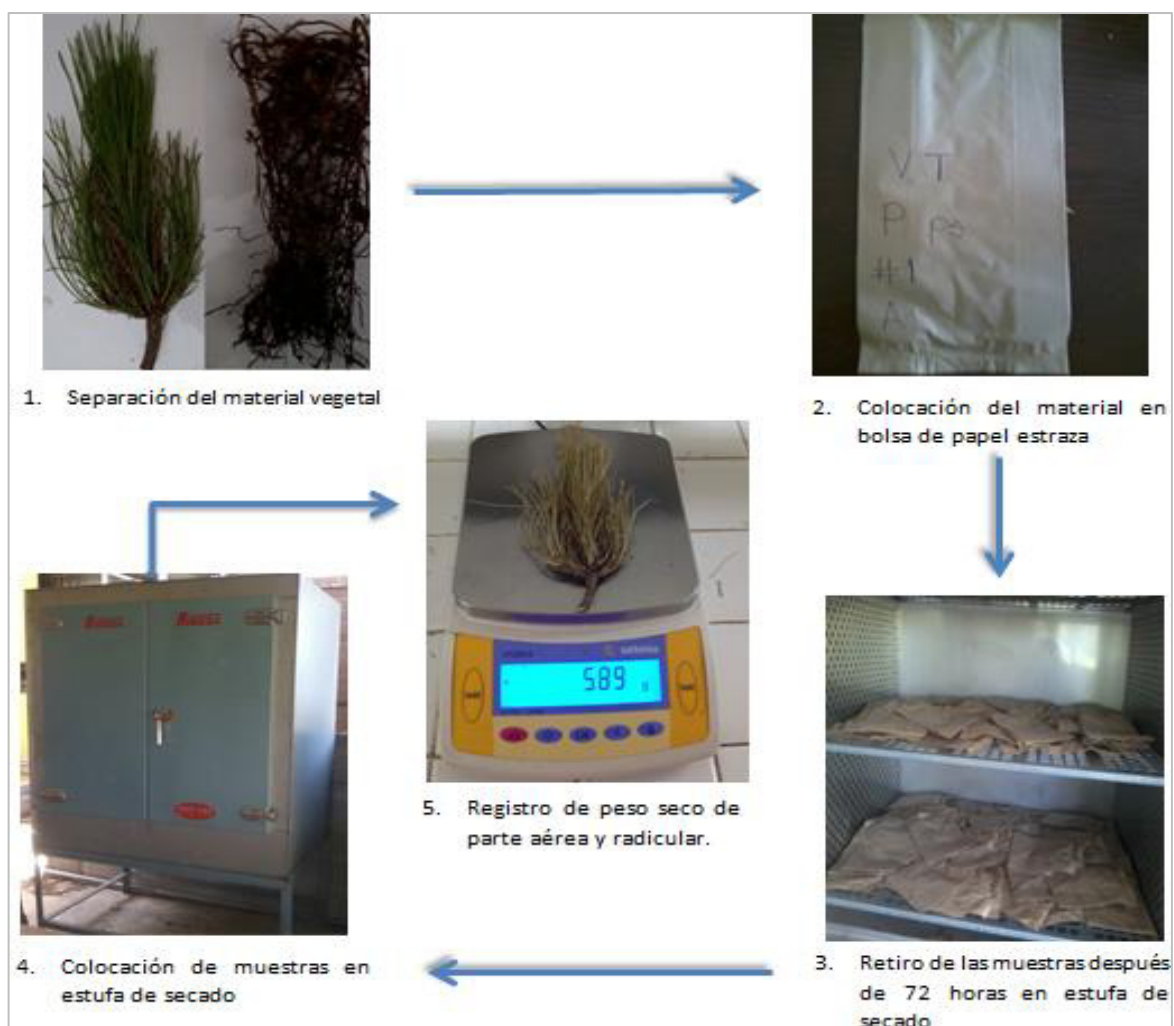


Figura 7. Proceso de obtención de biomasa seca

4.4. Determinación de calidad de planta

Con las medidas de las variables obtenidas se determinaron los siguientes índices de calidad de la planta:

Relación altura/diámetro del cuello de la raíz o Índice de robustez (IR):

Este índice relaciona la altura (cm) y el diámetro del cuello de la raíz (mm) de la planta, y se determinó como sigue:

$$IR = \frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro cuello de la raíz(mm)}}$$

Índice de calidad de Dickson (ICD):

El ICD reúne varios atributos morfológicos en un solo valor que es utilizado como índice de calidad. Este índice se obtuvo a partir de la siguiente fórmula:

$$ICD = \frac{\text{Peso seco total (g)}}{\frac{\text{Altura(cm)}}{\text{Diámetro(mm)}} + \frac{\text{Peso seco parte aérea(g)}}{\text{Peso seco raíz(g)}}$$

Relación altura/Longitud de la raíz (R A/LR):

Este índice predice el éxito de la plantación y debe existir equilibrio y proporción entre la parte aérea y el sistema radical de las plantas. La relación A/LR se obtuvo como sigue:

$$R\ h/longitud\ raíz = \frac{\text{Altura}}{\text{Longitud de la raíz}}$$

Relación biomasa seca aérea/Biomasa seca raíz (R BSA/BSR):

Esta proporción se caracteriza por reflejar el desarrollo de la planta en vivero y se calculó con la siguiente formula:

$$R\ BSA/BSR = \frac{\text{Biomasa seca aérea (g)}}{\text{Biomasa seca raíz (g)}}$$

Los valores obtenidos en los cálculos de los índices fueron comparados con los valores para calificar la calidad de planta con crecimiento normal (Tabla 1).

Variable	Calidad y rango		
	Alta	Media	Baja
Altura del tallo (cm)	15-25	12 -15	< 12
Diámetro (mm)	>4	2.5-4	< 2.5
Índice de robustez	< 6	6-8	> 8
Relación Altura/Longitud de raíz	< 2	2.1-2.5	> 2.5
Relación Biomasa seca aérea/Biomasa seca raíz	1.5-2	2-2.5	> 2.5
Índice de Calidad de Dickson	> 0.5	0.2-0.5	< 0.2

Tabla 1. Valores para determinar la calidad de planta.

Una vez definida la calidad de cada parámetro morfológico se determinó la calidad total reclasificándolas de acuerdo con las siguientes consideraciones:

Calidad alta (A): Planta que presenta ausencia absoluta de características indeseables; es decir, que las variables evaluadas se califican de calidad alta, aunque se pueden aceptar hasta tres valores de calidad media (M), pero ningún valor de calidad baja (B).

Calidad media (M): Planta con calificación de calidad alta (A) en menor proporción y se aceptan hasta cinco valores de calidad media (M) y hasta una variable con calidad baja (B).

Calidad baja (B): Planta que presenta más de un valor de calidad baja (B) y el resto de calidad media o alta; es decir, es planta no apta para su plantación porque no garantiza su supervivencia.

4.5. Análisis de datos

Lo información de datos con los valores morfológicos obtenidas en la evaluación se organizó en tablas de Microsoft Office Excel ©2010 a nivel de vivero y por especie. En este mismo se calcularon los valores de los parámetros: índice de robustez (IR), índice de calidad de Dickson (ICD), relación altura/longitud de la raíz y relación biomasa seca aérea/biomasa seca raíz.

Con el programa R 2.12.2 se obtuvo la media y la prueba de t de los Índices de Dickson para comparar las medias y ver si existe o no diferencias significativas entre la primera y segunda evaluación de las especies estudiadas. Y para realizar la construcción de los modelos de regresión lineal se utilizó el programa estadístico IBM SPSS Statistics 20.

4.6. Construcción de modelos de regresión lineal

4.6.1. Variables consideradas en la evaluación de plantas

Las variables que fueron tomados en cuenta para la construcción del modelo se presentan en la siguiente tabla (Tabla 2).

H	Altura (cm)
D	Diámetro del cuello de la raíz (mm)
LA	Longitud aéreo (cm)
LR	Longitud radicular (cm)
PSA	Peso seco aéreo (g)
PSR	Peso seco radicular (g)
IR	<div>Índice de robustez</div> $IR = \frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro cuello de la raíz(mm)}}$
ICD	<div>Índice de Calidad de Dickson</div> $ICD = \frac{\text{Peso seco total (g)}}{\frac{\text{Altura(cm)}}{\text{Diámetro(mm)}} + \frac{\text{Peso seco parte aérea(g)}}{\text{Peso seco raíz(g)}}}$

Tabla 2. Variables para la construcción de los modelos

4.6.2. Función de relativización

Partiendo que los indicadores de calidad de planta representan un modelo empírico de la realidad, a estos se le adaptaron a una escala común mediante la función de relativización, en donde los valores cercanos a cero pasan a ser de mala calidad y los valores cercanos a uno de buena calidad.

Para realizar la relativización hizo la transformación de los datos utilizando la siguiente formula:

$$f(x) = \frac{x - m}{M - m}$$

Dónde:

x: Es el valor correspondiente del indicador para una unidad de análisis determinada.

m: Es el valor mínimo del indicador

M: Es el valor máximo del indicador

4.6.3. Criterios de selección de variables

Existen diferentes criterios estadísticos para seleccionar variables en un modelo de regresión, algunos de estos criterios son: el valor del coeficiente de correlación múltiple R^2 (corregido o sin corregir), el valor del coeficiente de correlación parcial entre cada variable independiente y la dependiente, el grado de reducción que se obtiene en el error típico de los residuos al incorporar una variable, etc. De una u otra forma, todos ellos coinciden en intentar maximizar el ajuste del modelo de regresión utilizando el mínimo número posible de variables (Lizasoain & Joaristi, 2003).

4.6.4. Criterio de significación

De acuerdo con este criterio, sólo se incorporan al modelo de regresión aquellas variables que contribuyen de forma significativa al ajuste del modelo. El cual incluye dos criterios de significación:

Probabilidad de F. Una variable pasa a formar parte del modelo de regresión si el nivel crítico asociado a su coeficiente de correlación parcial al contrastar la

hipótesis de independencia es menor que 0,05 (probabilidad de entrada). Y queda fuera del modelo de regresión si ese nivel crítico es mayor que 0,10 (probabilidad de salida).

Valor de F. Una variable pasa a formar parte del modelo de regresión si el valor del estadístico F utilizado para contrastar la hipótesis de independencia es mayor que 3,84 (valor de entrada). Y queda fuera del modelo si el valor del estadístico F es menor que 2,71 (valor de salida).

4.6.5. Criterio de tolerancia

Superado el criterio de significación, una variable sólo pasa a formar parte del modelo si su nivel de tolerancia es mayor que el nivel establecido por defecto (este nivel es 0.0001) y si, además, aun correspondiéndole un coeficiente de correlación parcial significativamente distinto de cero, su incorporación al modelo hace que alguna de las variables previamente seleccionadas pase a tener un nivel de tolerancia por debajo del nivel establecido.

4.6.6. Método de selección de variables

Existen diferentes métodos para seleccionar las variables independientes que debe incluir un modelo de regresión, de acuerdo con Morales (2006), el modelo de regresión se puede construir utilizando las siguientes técnicas:

- **Técnica de pasos hacia adelante (Forward):** consiste en ir introduciendo las variables en el modelo únicamente si cumplen una serie de condiciones hasta que no se pueda introducir ninguna más, hasta que ninguna cumpla la condición impuesta.
- **Técnica de pasos hacia atrás (Backward):** se introducen en el modelo todas las variables y se van suprimiendo si cumplen una serie de condiciones

definidas a priori hasta que no se pueden eliminar más, es decir ninguna variable cumpla la condición impuesta.

- **Técnica de introducir todas las variables obligatoriamente (Enter):** Esta técnica de selección de las variables permite hacerlo de manera manual, partiendo de un modelo inicial, en el que se obliga a que entren todas las variables seleccionadas, se va evaluando qué variable es la que menos participa en él y se elimina, volviendo a construir un nuevo modelo de regresión aplicando la misma técnica, pero excluyendo la variable seleccionada y aplicando el mismo proceso de selección.
- **Técnica por pasos (Stepwise):** Esta técnica combina los métodos adelante y atrás introduciendo o eliminando variables del modelo si cumplen una serie de condiciones definidas a priori hasta que ninguna variable satisfaga ninguna de las condiciones expuestas de entrada o salida del modelo.

El método de pasos sucesivos es el que tiene mayor aceptación, este método permite seleccionar en primer lugar la mejor variable, la mejor de las restantes y así sucesivamente hasta que ya no quedan variables que cumplan los criterios de selección.

Rojo (2007) hace mención de la utilidad de este método, debido a que en cada etapa introduce las variables más significativas, en este mismo permite examinar si todas las variables introducidas en el modelo deben permanecer.

4.6.7. Método de selección de variables aplicando la técnica de pasos sucesivos (stepwise)

Para desarrollar el método de pasos sucesivos Se utilizaron como variables dependiente los Índice de Robustez (IR) e Índice de Calidad de Dickson (ICD) y

como variables independientes el diámetro (D), la altura (H), longitud radicular (LR), longitud aéreo (LA), peso seco aéreo (PSA) y peso seco radicular (PSR).

La finalidad de introducir la mayor cantidad de variables como independientes, fue con el objetivo de encontrar el modelo de regresión que explique, con el mínimo número posible de variables independientes, la mayor cantidad posible de la varianza de las variables Índice de Robustez y el Índice de calidad de Dickson para las especies de *Pinus pseudostrobus*, *Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, *Quercus rubra* y *Eucalyptus camaldulensis*.

4.6.7.1. Variables introducidas/eliminadas

En esta, se indican el número de pasos dados para construir el modelo de regresión, la eliminación de alguna variable previamente seleccionada, y sobre los criterios de entrada y salida: una variable es incorporada al modelo si su coeficiente de regresión parcial es significativamente distinto de cero al 5 % y, una vez seleccionada, sólo es eliminada del modelo si con la incorporación de otra u otras variables en un paso posterior su coeficiente de regresión parcial deja de ser significativamente distinto de cero al 10 % (Lizasoain & Joaristi, 2003).

4.6.7.2. Resumen del modelo

En este se recoge el valor de R^2 en cada paso, el cambio experimentado por R^2 en cada paso, y el estadístico F y su significancia. De tal manera que el estadístico F permitirá contrastar la hipótesis de que el cambio en R^2 vale cero en la población. Y El valor crítico permitirá afirmar si la variable incorporada al modelo contribuye significativamente a explicar lo que ocurre con la variable dependiente.

4.6.7.3. Resumen del ANOVA

La tabla resumen del ANOVA contiene el valor del estadístico F obtenido al contrastar la hipótesis de que el valor poblacional de R^2 en cada paso es cero. Si R^2 es significativamente distinta de cero en el primer paso, también lo será en los pasos sucesivos.

4.6.7.4. Coeficientes de regresión parcial

Contiene información para construir la ecuación de regresión en cada paso. Además brinda el valor de los coeficientes de regresión parcial (B) y su error típico, los coeficientes de regresión parcial estandarizados (Beta), los cuales proporcionan la importancia de cada variable dentro de la ecuación. También muestran el estadístico t y el nivel crítico (Sig) obtenidos al contrastar las hipótesis de que los coeficientes de regresión parcial valen cero en la población. Un nivel crítico por debajo de 0.05 indica que la variable contribuye significativamente a mejorar la calidad del modelo de regresión (Lizasoain & Joaristi, 2003).

4.6.7.5. Variables excluidas

Muestra los coeficientes de regresión parcial de las variables no seleccionadas para formar parte de la ecuación de regresión. Brinda información a detalle del por qué unas variables han sido seleccionadas y otras no. Ofrece también el valor que tomaría el coeficiente de regresión estandarizado de una variable en el caso de que fuera seleccionada.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Proceso de producción de plantas en viveros evaluados

5.1.1. Vivero Carlos Diez Gutiérrez Coleman, Cd. Victoria Tamaulipas.

Información General

- Nombre del vivero: Carlos Diez Gutiérrez Coleman
- Localidad: Cd. Victoria, Tamaulipas.
- Ubicación Geográfica: en 23° 42'32.1" Latitud y 99° 10' 34.9" Longitud).
- Características climáticas:
 - Altura sobre el nivel del mar: 376 msnm
 - Precipitación media anual: 750 mm.
 - Temperatura media anual: 23.9°C.
 - Periodo de lluvias: Agosto a octubre.
 - Periodo de heladas: Raras, de diciembre a febrero.
 - Periodo de granizadas: Muy ocasionales durante el periodo de lluvias.
 - Tipo de clima: (a) Cf. (w) (e) y BSI (h') w' (e).

Infraestructura

- Caminos de acceso: Carretera pavimentada y terracería.
- Caminos interiores: Recubrimiento de tierra y grava.
- Cerco perimetral: Malla ciclónica.
- Sistema de riego: Micro aspersión móvil.
- Sistema de cubiertas: Malla sombra de polietileno de 70% de sombra sostenida por estructura metálica, dimensión total aproximada de 3,264 m².
- Mesas porta charolas: En total 40 mesas porta charolas metálicas con 65 cm de altura, 2.66 m de ancho y 18.24 m de largo, con capacidad para 566,784 contenedores de 150 ml.

- Contenedores: Charolas de plástico rígido de 24 cavidades de 150 ml; 10 cm de alto, 4.4 cm de diámetro inferior y 5.2 cm de diámetro superior.
- Fuente de abasto de agua: Pozo profundo.
- Módulos y capacidad de producción: 1 módulo con capacidad para 566,784 plantas.

Semilla

- Procedencia:
 - *Quercus virginiana*: Nuevo León.
 - *Gmelina arborea*: Plantaciones forestales de Ocampo, Tamaulipas.
 - *Pinus pseudostrobus*: Veracruz.
 - *Eucalyptus cammaldulensis*: Costa rica.
- Porcentaje mínimo de germinación:
 - *Quercus virginiana*: 85 %
 - *Gmelina arborea*: 90 %
 - *Pinus pseudostrobus*: 90 %
 - *Eucalyptus cammaldulensis*: 95 %
- Tratamientos pregerminativos:
 - *Quercus virginiana*: Inmersión en agua durante 48 horas
 - *Gmelina arborea*: Inmersión en agua durante 72 horas
 - *Pinus pseudostrobus*: Inmersión en agua durante 24 horas
 - *Eucalyptus cammaldulensis*: Sin tratamiento pregerminativo

Sustrato (mezcla)

Tipo de material	Proporción	Granulometria
Peat-moss	60	Básica
Cascara de pino	40	Básica
Basacote Plus gm	3 Kg/MB*	

Tabla 3. Características del riego realizado por la USEFT.

* Mezcla base (MB): 5 pacas de Peat moss de 107 litros cada una (535 litros) más 6 pacas de corteza de pino de 50 litros cada una (300 litros). Total = 835 litros.

- Fertilizante de liberación lenta, formula, duración y nombre comercial: 16+8+12(+2)/16+3.5+9.9 (1.2). Duración de 4 a 5 meses con temperatura media del sustrato de 27°C. Basacote 6M.

Riego

Riego empleado durante la fase de crecimiento (Tabla 4)

Fase de crecimiento	Tiempo de riego (minutos)	Periodicidad de la aplicación del riego
Germinación	144	Diario
Crecimiento Inicial	144	Diario
Crecimiento rápido	144	Diario
Endurecimiento	144-192	Diario
Preacondicionamiento	120	6 horas antes de su salida

Tabla 4. Características del riego realizado por la USEFT.*

* El sistema de riego es por micro-aspersión móvil. El robot tarda 24 minutos en dar una vuelta completa al área de producción.

5.1.2. Vivero Aldama, Aldama, Tamaulipas

Información general

- Nombre del vivero: Aldama
- Localidad: Aldama, Tamaulipas.
- Ubicación Geográfica: en 22° 55'24.38" Latitud y 98° 04' 27.05" Longitud.
- Características climáticas:
 - Altura sobre el nivel del mar: 130 msnm
 - Precipitación media anual: 900-1100 mm.
 - Temperatura media anual: 18-26°C.

- Periodo de lluvias: Agosto a octubre.
- Tipo de clima: (a) Cf. (w1)

Infraestructura

- Caminos de acceso: Carretera pavimentada y terracería.
- Caminos interiores: Recubrimiento de tierra y grava.
- Cerco perimetral: Malla ciclónica.
- Sistema de riego: Micro aspersión móvil.
- Sistema de cubiertas: Malla sombra de polietileno de 70% de sombra sostenida por estructura metálica.
- Mesas porta charolas: Mesas porta charolas metálicas con 65 cm de altura, 2.66 m de ancho y 18.24 m de largo.
- Contenedores: Charolas de plástico rígido de 54 cavidades de 150 ml; 10 cm de alto, 4.4 cm de diámetro inferior y 5.2 cm de diámetro superior.

Semilla

- Procedencia:
 - *Gmelina arborea*: Plantaciones forestales de Ocampo, Tamaulipas.
 - *Eucalyptus cammaldulensis*: Costa rica.
 - *Tectona grandis*: Costa Rica.
- Porcentaje mínimo de germinación:
 - *Gmelina arborea*: 90 %
 - *Eucalyptus cammaldulensis*: 95 %
 - *Tectona grandis*: 90 %
- Tratamientos pregerminativos:
 - *Gmelina arborea*: Inmersión en agua durante 72 horas
 - *Eucalyptus cammaldulensis*: Sin tratamiento pregerminativo

- *Tectona grandis*: Sin tratamiento pregerminativo

Sustrato (mezcla)

Tipo de material	Proporción	Granulometría
Peat-moss	60	Básica
Cascara de pino	40	Básica

Tabla 5. Características del riego realizado por la USEFT.*

- Fertilización ½ L. de Alguin cada tres días durante un mes y 1 meses con Basacote 6M.

Riego

Riego empleado durante la fase de crecimiento (Tabla 5)

Fase de crecimiento	Tiempo de riego (minutos)	Periodicidad de la aplicación del riego
Germinación	144	Diario
Crecimiento Inicial	144	Diario
Crecimiento rápido	144	Diario
Endurecimiento	144-192	Diario
Preacondicionamiento	120	6 horas antes de su salida

Tabla 6. Características del riego realizado por la USEFT.

- * El sistema de riego es por micro-aspersión móvil (robot).

5.2. Calidad de planta en el vivero forestal Carlos Diez Gutiérrez Coleman, Cd. Victoria, Tamaulipas.

5.2.1. *Pinus pseudostrobus*

En base a las características morfológicas, las plantas de *Pinus pseudostrobus* en la primera evaluación, la altura fue mayor (37.71 cm) que la segunda (24.48 cm) (Figura 8), siendo estas de calidad alta ya que están en el rango recomendado

para las coníferas. De acuerdo con Mexal y Landis (1990) el rango de alturas para plantas de calidad alta debe de estar entre 15 y 25 (Tabla 7).

Variable	Primera evaluación			Segunda evaluación	
	Valor	Calidad		Valor	Calidad
Altura (cm)	34.71	A		24.48	A
Diámetro (mm)	6.21	A		4.50	A
Índice de robustez	5.59	A		5.66	A
Índice de Dickson	0.94	A		0.91	A
Relación Long. Aéreo / Long. raíz	2.15	M		1.24	A
Rel biom seca aérea/biom seca raíz	2.41	M		1.76	A

Valores para calificar la calidad de planta forestal A= Calidad alta M= Calidad media B= Calidad baja

Tabla 7. Valores medios de calidad morfológica para *P. pseudostrobus*

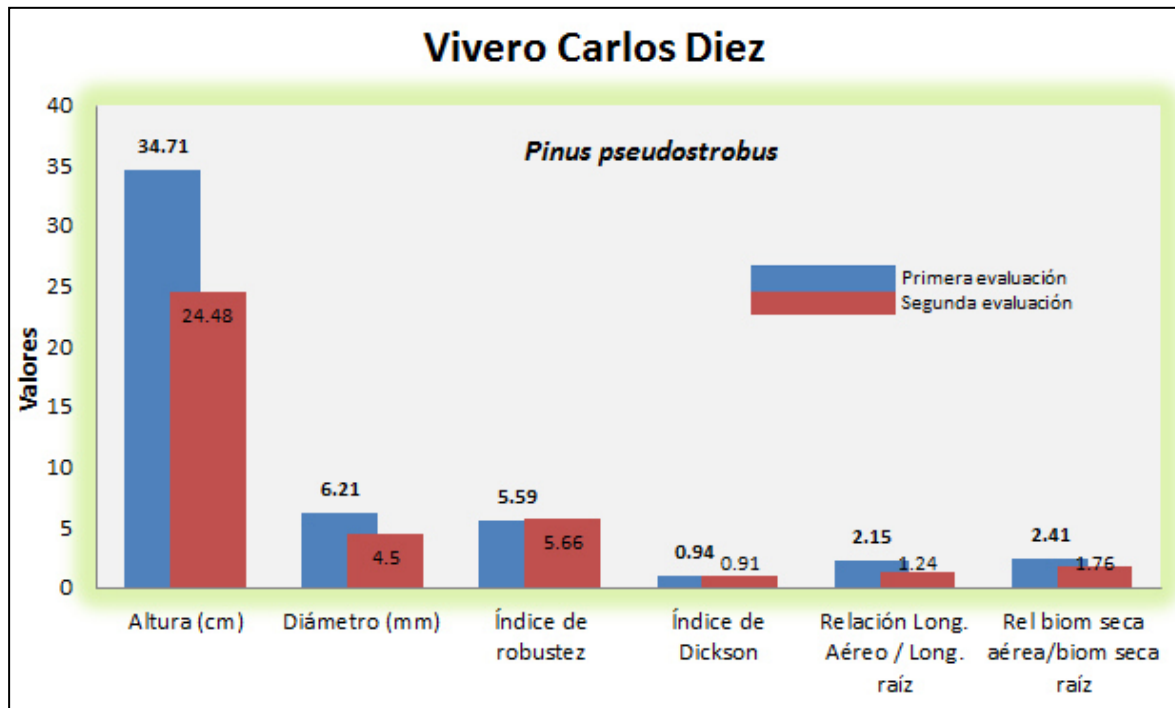


Figura 8. Valores medios de los indicadores morfológicos para *P. pseudostrobus*

Los valores del diámetro fueron de 6.21 y 4.50 mm. para la producción 2013 y 2014 respectivamente, por lo que se califican de calidad alta. Los índices de robustez obtenidos resultaron menores a seis, considerándose plantas de calidad alta. La relación de biomasa seca aérea/biomasa seca raíz fue de 2.41 para la producción 2013, siendo esta de mediana calidad, y para la producción 2014 el valor fue de 1.76, el cual indica que es de mejor calidad.

5.2.2. *Quercus rubra*

Los resultados de las variables morfológicas muestran que la altura de la producción 2013 fue de 34.03 cm, por lo que rebasa el rango (15-25 cm) (Figura 9), sin embargo se considera de calidad alta. En la segunda evaluación la altura mejora, al quedar en valor de 23.85 (Tabla 8).

Variable	Primera evaluación			Segunda evaluación	
	Valor	Calidad		Valor	Calidad
Altura (cm)	34.03	A		23.85	A
Diámetro (mm)	4.92	A		4.20	A
Índice de robustez	6.96	M		5.68	A
Índice de Dickson	0.85	A		0.94	A
Relación Long. Aéreo / Long. raíz	1.48	A		1.41	A
Rel biom seca aérea/biom seca raíz	0.76	A		0.38	A

Valores para calificar la calidad de planta forestal A= Calidad alta M= Calidad media B= Calidad baja

Tabla 8. Valores medios de calidad morfológica para *Q. rubra*.

Los valores del diámetro en la primera evaluación fue de 4.92 mm siendo esta de calidad alta, mientras que para la segunda evaluación, este bajó su valor a 4.20 mm, pero se mantiene en alta calidad. En cuanto al índice de robustez, la calidad de planta producida fue calificada media en la producción del 2013 y alta en la producción del 2014, con valores de 6.96 y 5.68 respectivamente. Los valores

obtenidos para el Índice de Calidad de Dickson indican que la calidad de la planta producida es alta para las dos producciones con un valores de 0.85 y 0.94.

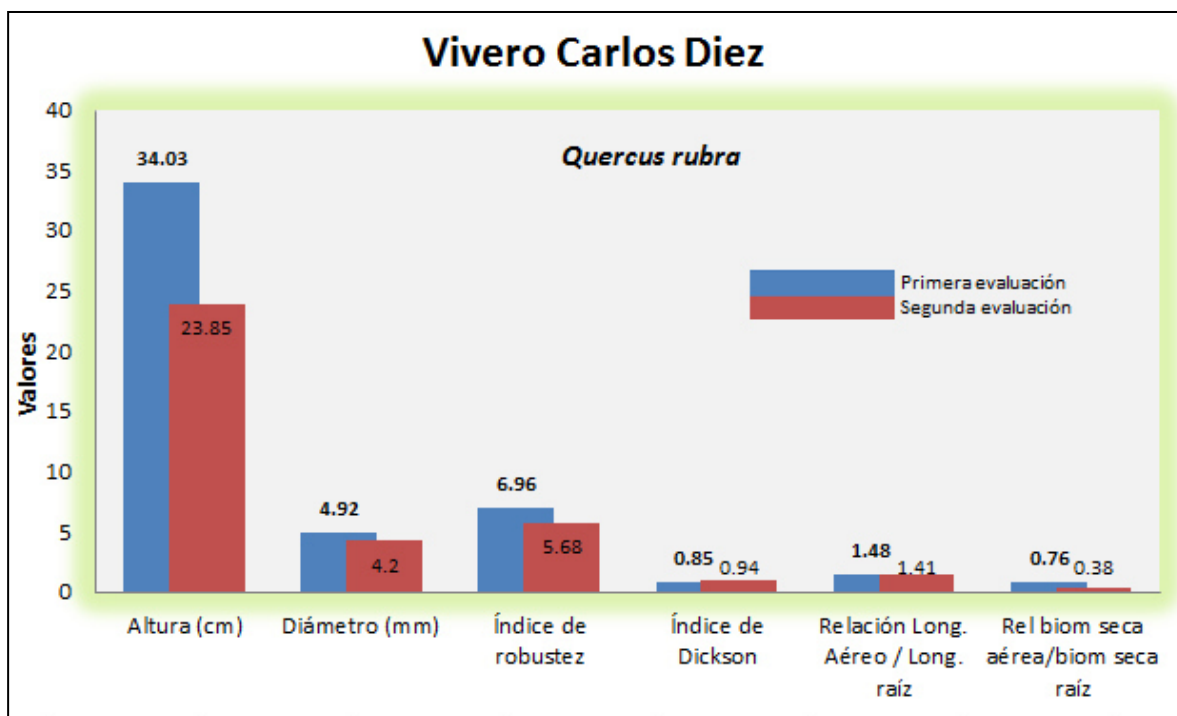


Figura 9. Valores medios de los indicadores morfológicos para *Quercus rubra*.

5.2.3. *Eucalyptus camaldulensis*

La especie de *E. camaldulensis* en la primera evaluación presentó una altura de 45.52 cm, rebasando el rango recomendado que es de 15-25 cm. Sin embargo el valor mejora en la segunda producción, con valor de 23.28 cm (Figura 10), por lo que se calificada como calidad alta (Tabla 9). El diámetro obtenida en la primera evaluación fue de 5.22, el cual indica ser de alta calidad, pero en la segunda evaluación fue bajo, con un valor de 1.67 mm. En cuanto al Índice de robustez, en la evaluación del 2013 y 2014 fueron de calidad baja.

Por su parte, la evaluación del 2013 presentó un Índice de Calidad de Dickson con valor de 0.30, siendo esta de calidad media, pero en la segunda producción (2014) la calidad es baja con valor de 0.15.

Variable	Primera evaluación			Segunda evaluación	
	Valor	Calidad		Valor	Calidad
Altura (cm)	45.52	A		23.28	A
Diámetro (mm)	5.22	A		1.67	B
Índice de robustez	8.69	B		14.13	B
Índice de Dickson	0.30	M		0.04	B
Relación Long. Aéreo / Long. raíz	1.23	A		1.53	A
Rel biom seca aérea/biom seca raíz	3.07	B		2.09	M

Valores para calificar la calidad de planta forestal A= Calidad alta M= Calidad media B= Calidad baja

Tabla 9. Valores medios de calidad morfológica para *E. camaldulensis*

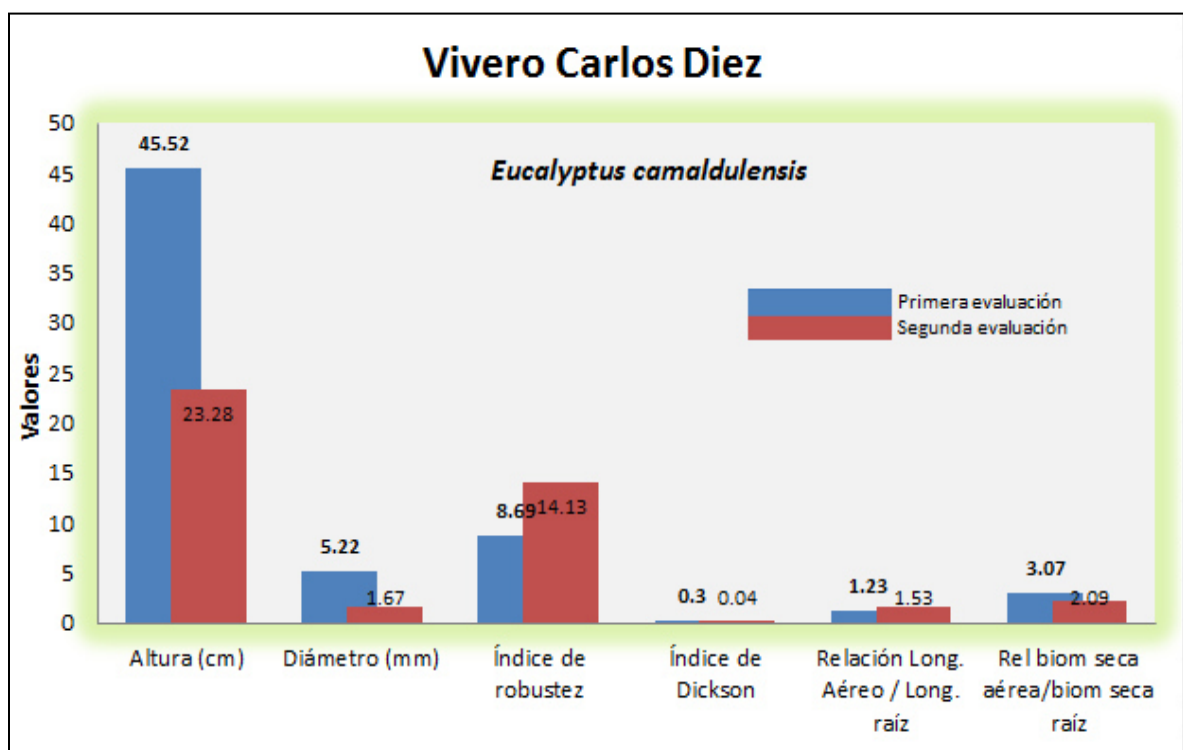


Figura 10. Valores medios de los indicadores morfológicos para *E. camaldulensis*.

5.2.4. *Gmelina arborea*

En la producción de 2013 y 2014, *G. arborea* presentó alturas mayores a lo recomendado, teniendo alturas de 54.50 y 30.98 cm. (Figura 11). Respecto a la variable diámetro, presentaron valores 5.79 y 4.03, el cual está dentro de los parámetros recomendados de calidad alta.

Los valores del índice de robustez oscilaron fueron de 9.44 y 7.85, lo que indica que pasó de ser de calidad baja a calidad media en la siguiente producción. El análisis del ICD muestra poca diferencia entre las dos producciones, a pesar de que se tuvieron grandes diferencias entre altura y diámetro. Estas fueron calificadas como de calidad media (Tabla 10).

Variable	Primera evaluación			Segunda evaluación	
	Valor	Calidad		Valor	Calidad
Altura (cm)	54.50	A		30.98	A
Diámetro (mm)	5.79	A		4.03	A
Índice de robustez	9.44	B		7.85	M
Índice de Dickson	0.29	M		0.30	M
Relación Long. Aéreo / Long. raíz	2.36	M		1.32	A
Rel biom seca aérea/biom seca raíz	2.26	M		1.06	A

Valores para calificar la calidad de planta forestal A= Calidad alta M= Calidad media B= Calidad baja

Tabla 10. Valores medios de calidad morfológica para *G. arborea*

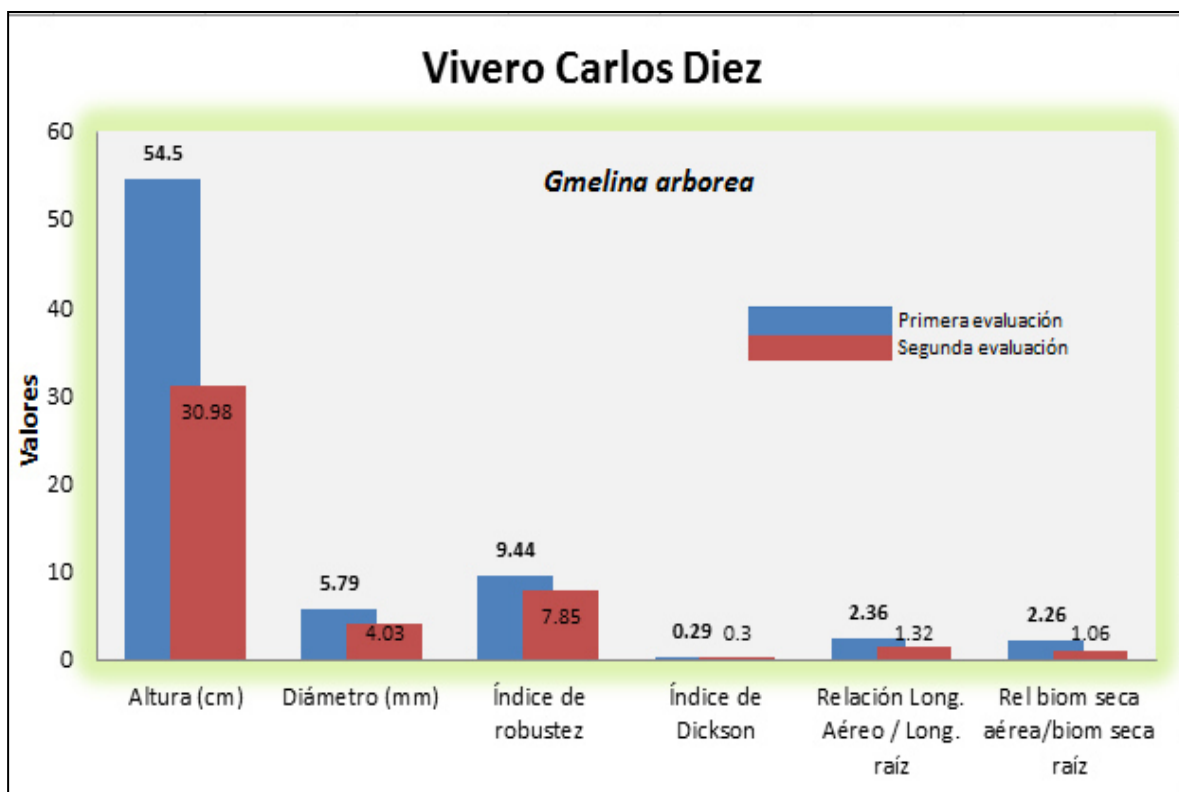


Figura 11. Valores medios de los indicadores morfológicos para *G. arborea*.

5.3. Calidad de planta en el vivero forestal de Aldama, Aldama, Tamaulipas

5.3.1. *Eucalyptus camaldulensis*

La especie *E. camaldulensis* presentaron alturas de 56.15 y 48.23 cm, en la primera y segunda evaluación (Figura 12), son valores que rebasan el rango recomendado de la altura (15-25 cm). El diámetro obtenido en la primera evaluación fue de 3.41, y en la segunda evaluación mejora al presentar un valor de 3.95 el cual indican ser de calidad media. En cuanto al Índice de robustez, en la evaluación del 2014 y 2015 fueron de calidad baja (Tabla 11).

La evaluación del año 2014 presentó un Índice de Calidad de Dickson con valor de 0.15 (calidad baja), pero en la producción del año 2015 la calidad mejoró y pasó a ser de calidad media, con valor de 0.20.

Variable	Primera evaluación			Segunda evaluación	
	Valor	Calidad		Valor	Calidad
Altura (cm)	56.15	A		48.24	A
Diámetro (mm)	3.41	M		3.95	M
Índice de robustez	16.49	B		12.25	B
Índice de Dickson	0.15	B		0.20	M
Relación Long. Aéreo / Long. raíz	1.90	A		1.93	A
Rel biom seca aérea/biom seca raíz	3.27	B		3.03	B

Valores para calificar la calidad de planta forestal A= Calidad alta M= Calidad media B= Calidad baja

Tabla 11. Valores medios de calidad morfológica para *E. camaldulensis*

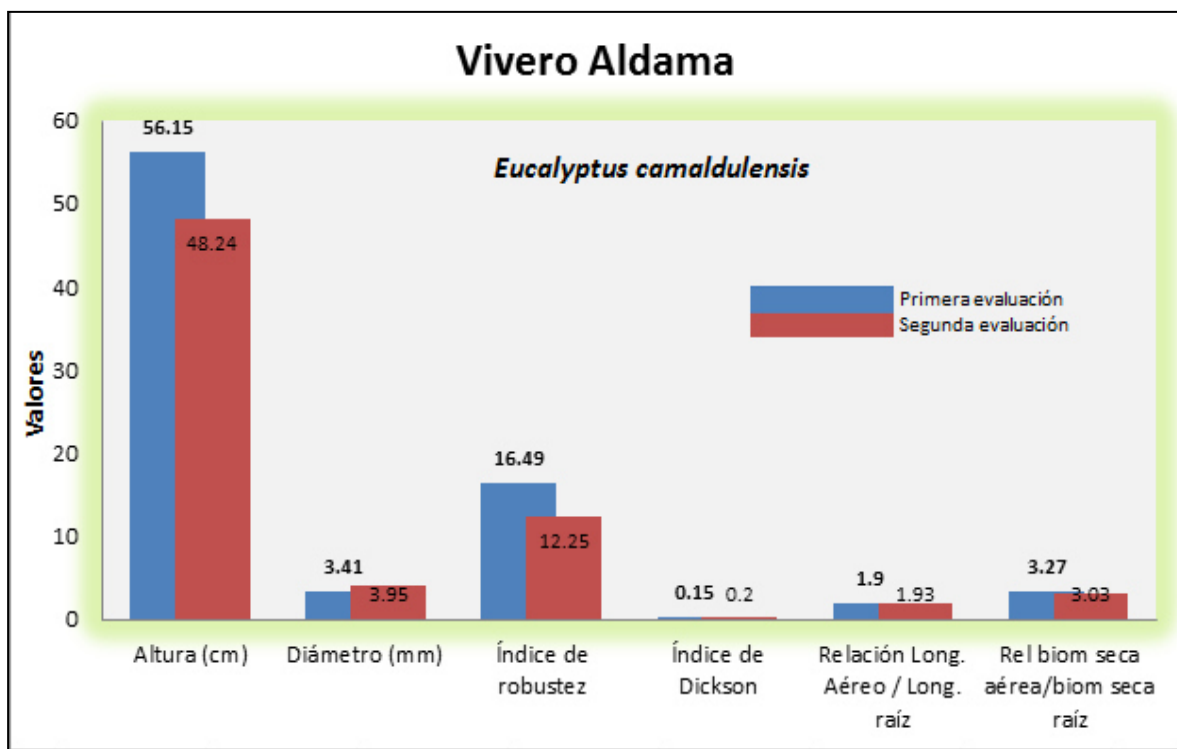


Figura 12. Valores medios de los indicadores morfológicos para *E. camaldulensis*.

5.3.2. *Tectona grandis*

Las especies *T. grandis* en la producción del año 2014 presentó una altura de 13.64 cm (calidad media), sin embargo en la segunda producción el valor aumentó a 29.13 (calidad alta) (Tabla 12). Respecto al diámetro, en la primera evaluación presentó un valor de 3.02 mm. el cual está dentro de los parámetros de calidad media. En la siguiente producción el valor del diámetro mejoró y pasó a ser de calidad alta (5.62).

El análisis del Índice de Calidad de Dickson muestra la marcada diferencia entre la evaluación del año 2014 y 2015 (Figura 13), ya que en la primera evaluación se tuvo valor de 0.17 y en la segunda 0.88. Lo anterior indica que pasó de ser calidad baja a calidad alta en la segunda producción.

Variable	Primera evaluación			Segunda evaluación	
	Valor	Calidad		Valor	Calidad
Altura (cm)	13.64	M		29.13	A
Diámetro (mm)	3.02	M		5.62	A
Índice de robustez	4.68	A		5.28	A
Índice de Dickson	0.17	B		0.88	A
Relación Long. Aéreo / Long. raíz	0.33	A		0.59	A
Rel biom seca aérea/biom seca raíz	0.72	A		0.25	A

Valores para calificar la calidad de planta forestal A= Calidad alta M= Calidad media B= Calidad baja

Tabla 12. Valores medios de calidad morfológica para *T. grandis*.

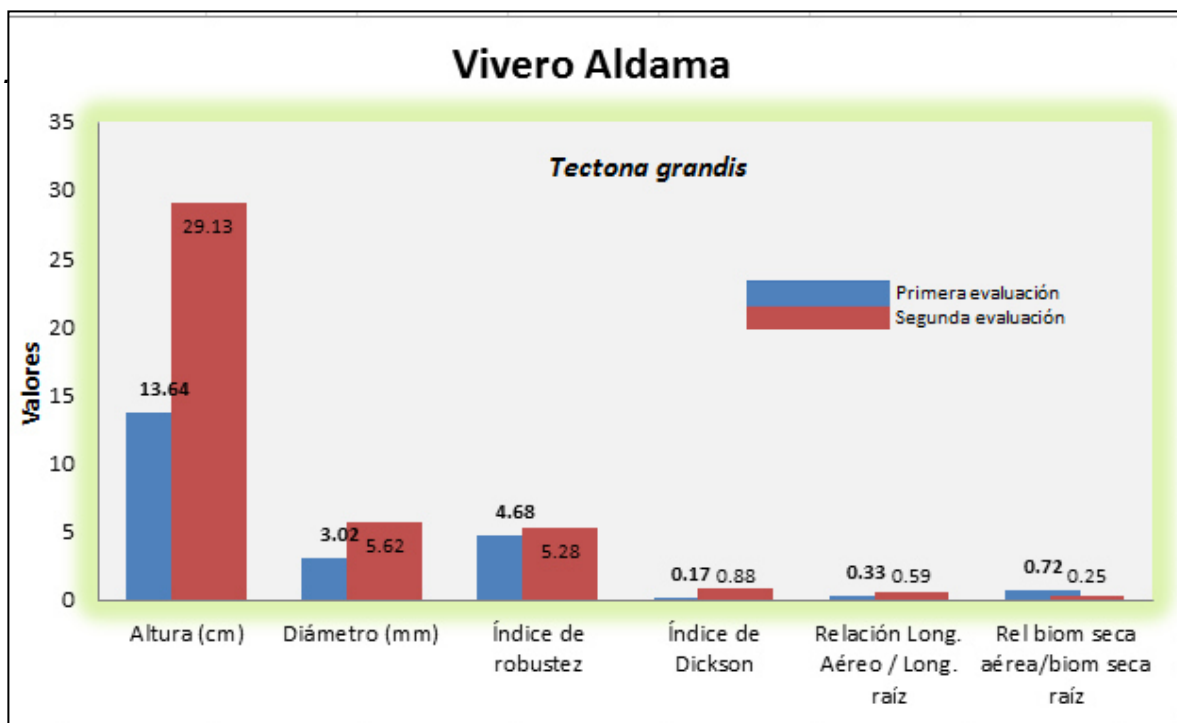


Figura 13. Valores medios de los indicadores morfológicos para *T. grandis*

5.3.3. *Gmelina arborea*

En la producción de 2014 y 2015, *G. arborea* presentó alturas de 31.48 y 33.10 cm. (Figura 14), estos valores indican valores de calidad alta. Respecto al diámetro, presentaron valores 4.49 y 4.86, el cual está dentro de los parámetros recomendados de calidad media (Tabla 13).

Los valores del índice de robustez fueron de 7.14 y 6.84, ambos de calidad media. El análisis del Índice de Calidad de Dickson en la primera evaluación presentó valores de calidad baja (0.18), pero en la segunda evaluación mejoró, y pasó a ser de calidad media (0.24).

Variable	Primera evaluación			Segunda evaluación	
	Valor	Calidad		Valor	Calidad
Altura (cm)	31.48	A		33.10	A
Diámetro (mm)	4.49	M		4.86	M
Índice de robustez	7.14	M		6.84	M
Índice de Dickson	0.18	B		0.24	M
Relación Long. Aéreo / Long. raíz	1.88	A		1.64	A
Rel biom seca aérea/biom seca raíz	3.01	B		1.18	A

Valores para calificar la calidad de planta forestal A= Calidad alta M= Calidad media B= Calidad baja

Tabla 13. Valores medios de calidad morfológica para *G. arborea*.

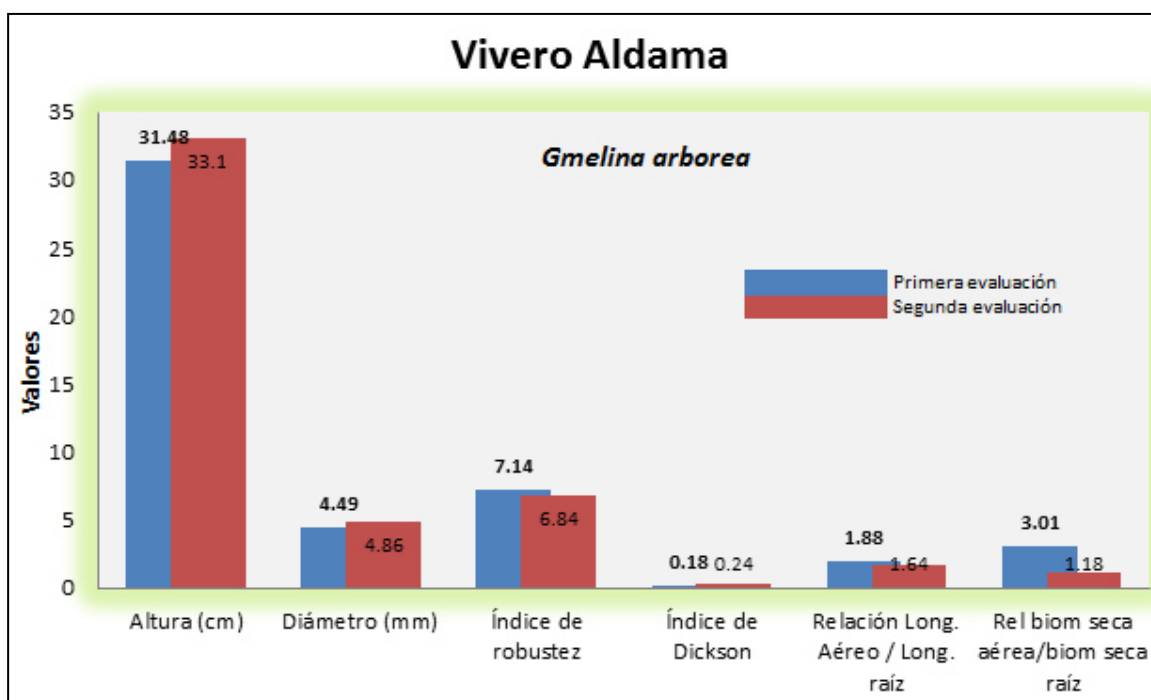


Figura 14. Valores medios de los indicadores morfológicos para *G. arborea*.

5.4. Comparación de la calidad en diferentes producciones de plantas a nivel de vivero

Las plantas que fueron comparadas corresponden a la producción de septiembre 2013 (primera evaluación) y abril de 2014 (segunda evaluación) para el vivero Carlos Diez y el vivero de Aldama corresponden a la producción de abril 2013 (primera evaluación) y febrero de 2015 (segunda evaluación). Para comparar la calidad de planta que se producen a nivel de vivero y de especie, se tomó el Índice de Calidad de Dickson (ICD) debido a que reúne todas las características morfológicas evaluadas en cada planta seleccionada.

5.4.1. Vivero Carlos Diez, Cd. Victoria, Tamaulipas

5.4.1.1. *Pinus pseudostrobus*

La comparación de medias para la especie *P. pseudostrobus*, en la primera evaluación arrojó un valor de 0.94 y en la segunda evaluación 0.91, con una significancia de P-valor=0.722, el cual indica que entre las dos evaluaciones realizadas no existe diferencias significativas (Figura 15).

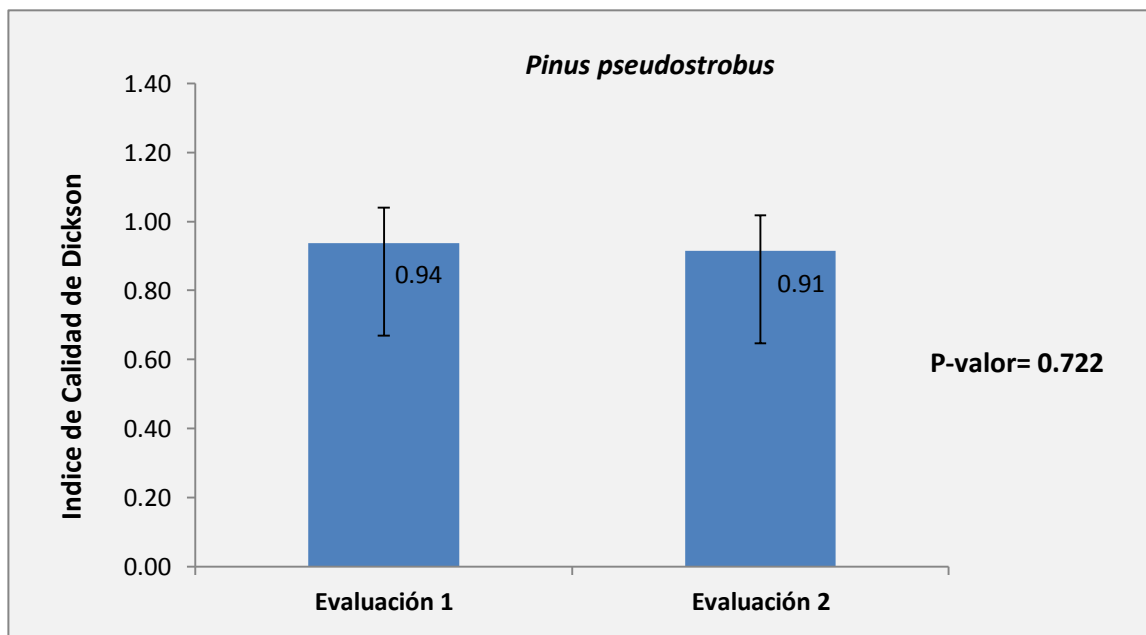


Figura 15. Comparación de medias de Índice de Calidad de Dickson, para *P. pseudostrobus*.

5.4.1.2. *Quercus rubra*

Q. rubra en la primera evaluación arrojó una media de 0.84 y la segunda 0.94, con una significancia de P-valor=0.046, el cual indica que entre las dos evaluaciones existe diferencias significativas (Figura 16).

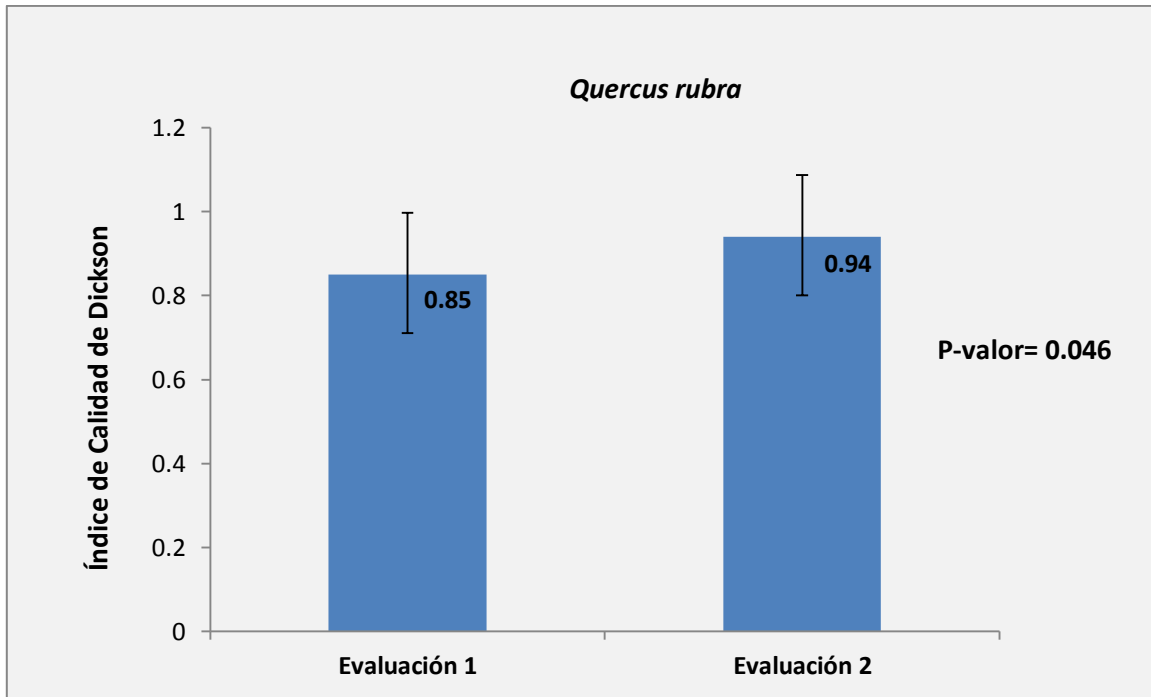


Figura 16. Comparación de medias de Índice de Calidad de Dickson

5.4.1.3. *Eucalyptus camaldulensis*

La evaluación realizada en la especie *E. camaldulensis*, arrojó una media de la primer evaluación de 0.30, y en la segunda, 0.04, y un P-valor= 2.20E-16 indica que si existe diferencia significativa entre la primera y la segunda evaluación (Figura 17).

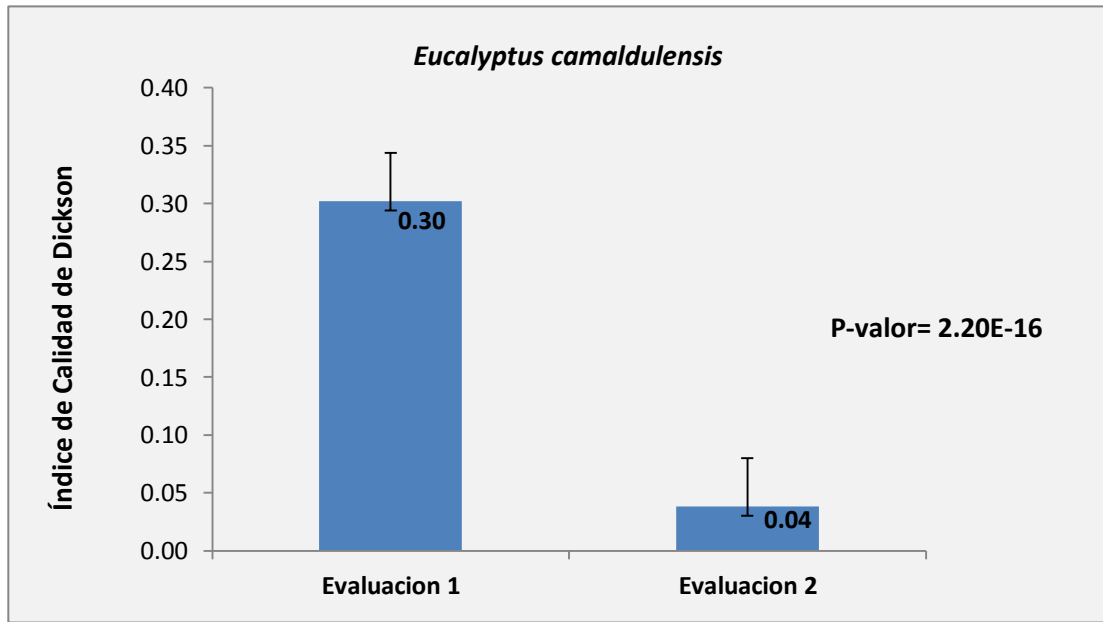


Figura 17. Comparación de medias de Índice de Calidad de Dickson

5.4.1.4. *Gmelina arborea*

La especie *G. arborea* presentó una media de 0.29 en la primera evaluación y la en la segunda de 0.30, con un $P\text{-valor}=0.320$. Por lo tanto las medias de las evaluaciones no presentan diferencias significativas (Figura 18).

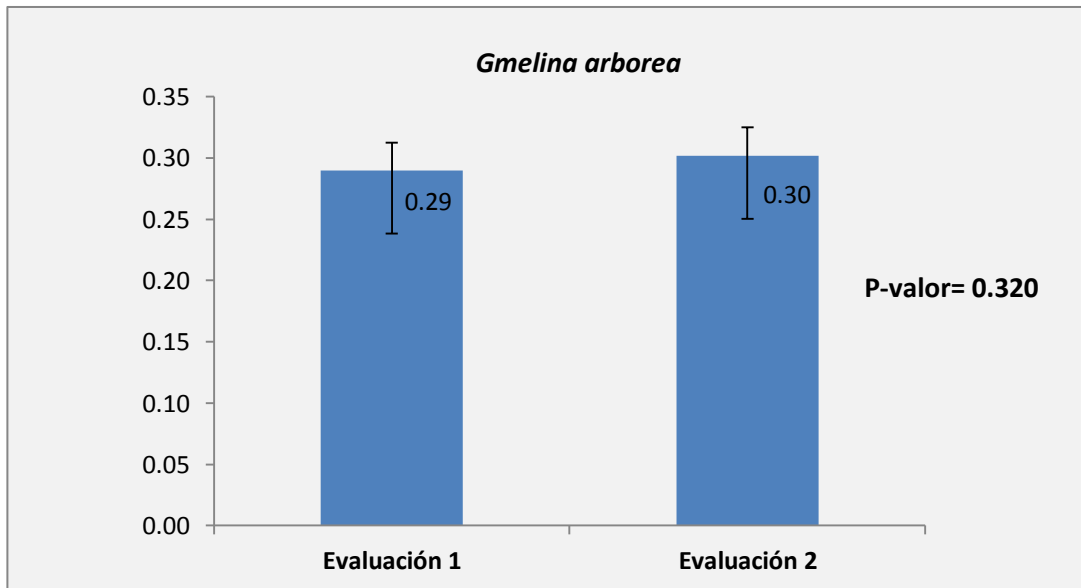


Figura 18. Comparación de medias de Índice de Calidad de Dickson

5.4.2. Vivero Aldama, Aldama, Tamaulipas

5.4.2.1. *Eucalyptus camaldulensis*

La evaluación realizada en la primera evaluación arrojó una media de 0.15 y en la segunda 0.20, con un P-valor= 4.59E-11, esto indica que existe diferencia significativa entre la primera y la segunda evaluación efectuada (Figura 19).

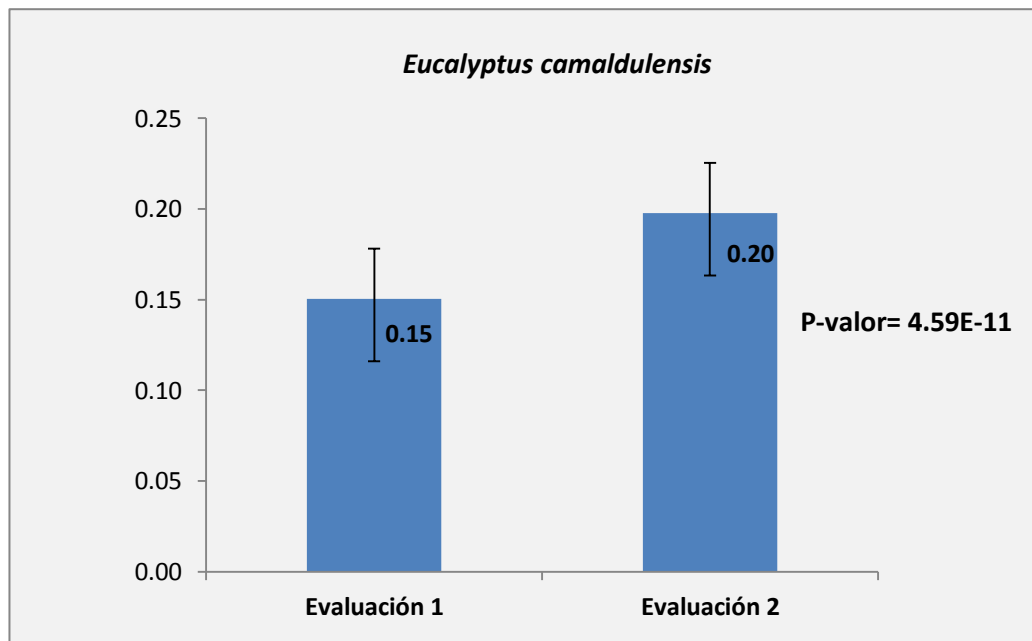


Figura 19. Comparación de medias de Índice de Calidad de Dickson

5.4.2.2. *Gmelina arborea*

La especie *G. arborea* presentó en la primer evaluación una media de 0.18 y 0.24 en la segunda, con una significancia de P-valor= 0.021. Este resultado indica que si existe diferencias significativas entre la primera y la segunda evaluación realizada (Figura 20).

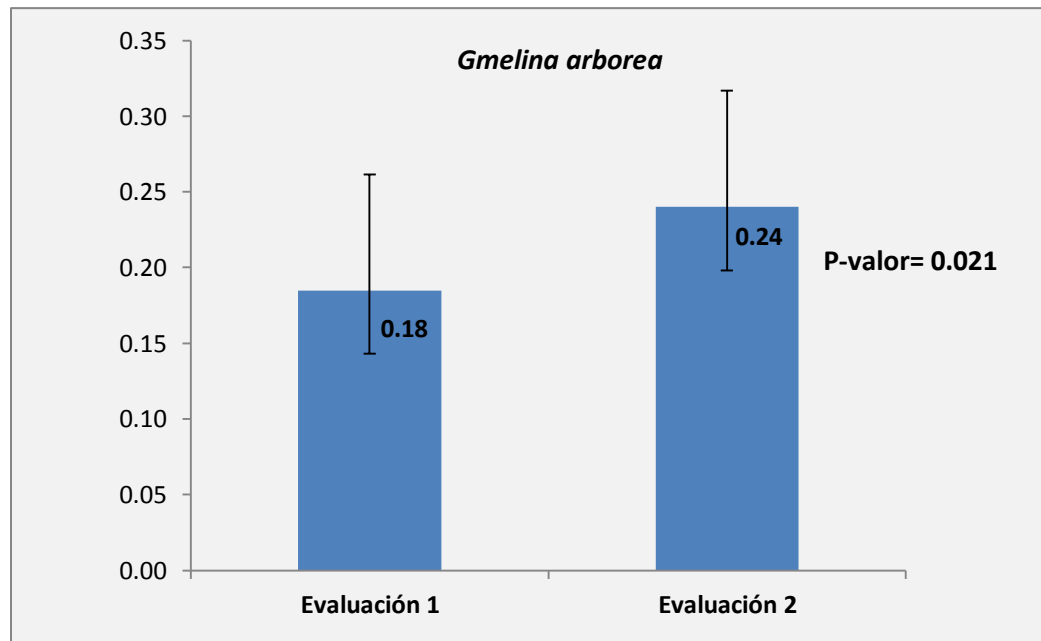


Figura 20. Comparación de medias de Índice de Calidad de Dickson

5.4.2.3. *Tectona grandis*

La especie *T. grandis* presentó una media de 0.17 en la primera evaluación y 0.88 en la segunda (Figura 21).

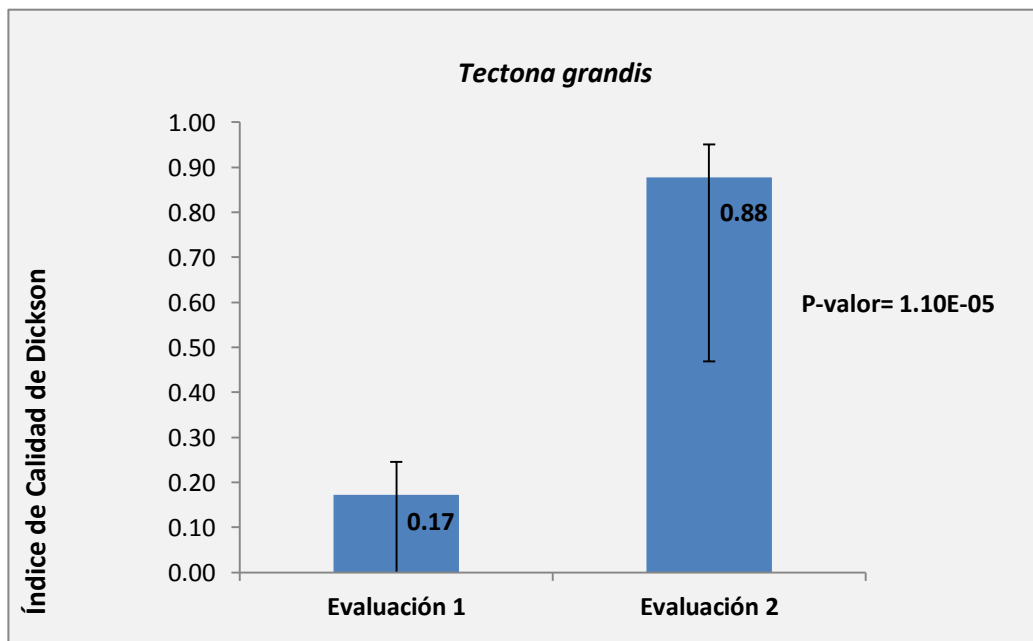


Figura 21. Comparación de medias de Índice de Calidad de Dickson

Además se obtuvo una significancia de $P\text{-valor} = 1.10E-050$, este resultado indica que si existe diferencias significativas entre la primera y la segunda evaluación.

5.5. Construcción de modelos de regresión lineal

5.5.1. *Pinus pseudostrobus*

5.5.1.1. Índice de Robustez

Prueba de normalidad Test de Shapiro-Wilk

Al realizarla la prueba de normalidad de la variable IR, arroja un valor de Sig= 0.058, este resultado (Tabla 14) indica que se acepta la hipótesis nula, por lo que, existe suficiente evidencia estadística para decir que los datos de la muestra se distribuyen de manera normal.

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.
IR	.946	42	.058

Tabla 14. Prueba de Test de Shapiro-Wilk

Variables introducidas/ eliminadas

En la tabla 15 se muestran las variables que han sido consideradas para formar parte del modelo y desechadas las que no aportan explicación a la variable dependiente (IR). En este caso, las variables Diámetro (D), Altura (H) y Longitud Aéreo (LA) son aptas para la construcción del modelo. Esto, debido a que su coeficiente de regresión parcial es significativamente distinto de cero al 5 %.

Variables introducidas/eliminadas ^a			
Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	D	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
2	H	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
3	LA	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
a. Variable dependiente: IR			

Tabla 15. Variables introducidas/eliminadas

Resumen del modelo

En el cuadro resumen del modelo (Tabla 16) se enseña los modelos creados a partir del método paso sucesivos. Se observan que fueron creados tres modelos, enumerados de manera ascendente de acuerdo a los valores del R, R^2 y número de variables incorporados.

El modelo uno incorpora una variable predictora (D), sin embargo, los valores de R y R^2 son inferiores ($R = 0.160$ y $R^2 = 0.139$) a lo esperado, es decir con una sola variable, únicamente se explica el 13.9 % de la varianza. Caso contrario ocurre con el modelo tres al incorporar tres variables predictoras (D, H, LA), los valores de R y R^2 aumentan ($R = 0.975$ y $R^2 = 0.951$), siendo este el modelo con el mejor ajuste, ya que explica un 95.1 % de la varianza de la variable dependiente.

En la misma tabla de resumen del modelo encontramos la respuesta del estadístico de Durbin-Watson, con un valor de 1.41. El valor se encuentra en el rango de 1-3, el cual indica que se acepta el supuesto de independencia de errores.

Resumen del modelo ^d					
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
1	.400 ^a	.160	.139	.23977	2.240
2	.967 ^b	.935	.932	.06729	
3	.975 ^c	.951	.948	.05917	
a. Variables predictoras: (Constante), D					
b. Variables predictoras: (Constante), D, H					
c. Variables predictoras: (Constante), D, H, LA					
d. Variable dependiente: IR					

Tabla 16. Resumen del modelo

Resumen del ANOVA

La tabla de resumen del ANOVA (Tabla 17) se muestra los valores de los modelos que fueron obtenidos en cada paso. Los tres modelos presentan valores de $P < 0.001$, es decir, los modelos mejoran significativamente en cada paso.

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	.438	1	.438	7.617	.000 ^b
	Residual	2.300	40	.057		
	Total	2.737	41			
2	Regresión	2.561	2	1.280	282.769	.000 ^c
	Residual	.177	39	.005		
	Total	2.737	41			
3	Regresión	2.604	3	.868	247.954	.000 ^d
	Residual	.133	38	.004		
	Total	2.737	41			
a. Variable dependiente: IR						
b. Variables predictoras: (Constante), D						
c. Variables predictoras: (Constante), D, H						
d. Variables predictoras: (Constante), D, H, LA						

Tabla 17. Resumen del ANOVA

El modelo tres presenta un valor estadístico de $F = 247.954$ que contrasta la hipótesis de que el valor poblacional de R^2 en cada paso es cero. Es decir, el valor del R^2 obtenido es significativamente distinta de cero en el primer paso, así como también en los pasos sucesivos ($P < 0.001$). Por lo tanto, el modelo tres mejora

significativamente la predicción de la variable dependiente, ya que se tiene una significancia por debajo de 0.05 ($F= 247.954$, $P<0.001$).

Coeficientes de regresión parcial

En la tabla de coeficientes (Tabla 18) contiene la información necesaria para la construcción de la ecuación de regresión en cada paso. Las primeras columnas recogen el valor de los coeficientes de regresión parcial (B) y su error típico. Las dos últimas columnas muestran el estadístico t y el nivel crítico (Sig) obtenidos al contrastar las hipótesis de que los coeficientes de regresión parcial valen cero en la población, es decir, un nivel crítico por debajo de 0.05 indica que la variable contribuye significativamente a mejorar la calidad del modelo de regresión.

Coeficientes ^a						
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	1.037	.193		5.376	.000
	D	-.098	.035	-.400	-2.760	.009
2	(Constante)	.559	.058		9.554	.000
	D	-.295	.013	-1.207	-21.880	.000
	H	.052	.002	1.195	21.653	.000
3	(Constante)	.482	.056		8.628	.000
	D	-.265	.015	-1.084	-18.130	.000
	H	.065	.004	1.497	15.205	.000
	LA	-.020	.006	-.416	-3.527	.001
a. Variable dependiente: IR						

Tabla 18. Coeficientes de regresión

Por lo anterior, el modelo selecto para estimar la variable dependiente es el número tres (Tabla 17), por lo tanto, el modelo queda construido de la siguiente manera:

$$y = -0.265X_1 + 0.065X_2 - 0.020X_3 + E$$

Dónde:

y: Índice de Robustez

X_1 : Diámetro

X₂: Altura
X₃: Longitud aéreo

5.5.1.2. Índice de Calidad de Dickson

Prueba de normalidad Test de Shapiro-Wilk

Al realizarla prueba de normalidad de la variable ICD, empleando la prueba de Shapiro-Wilk, arroja un valor de Sig= 0.070. Partiendo de que el valor recomendable de la Sig. tiene que ser mayor que (Sig.> 0.05), este resultado (Tabla 19) indica que se acepta la hipótesis nula, por lo que, existe suficiente evidencia estadística para decir que los datos de la muestra se distribuyen de manera normal, por lo tanto, se asume que se cumple el supuesto de normalidad y se puede proceder a analizar los datos con estadística paramétrica.

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
ICD	.951	42	.070

Tabla 19. Prueba de Test de Shapiro-Wilk

Variables introducidas/ eliminadas

En la tabla 20 se muestran las variables que han sido consideradas para formar parte del modelo y desechadas las que no aportan explicación a la variable dependiente (ICD). En este caso, las variables peso seco radicular (PSR), peso seco aéreo (PSA), altura (H) y diámetro (D) son aptos para la construcción del modelo. Esto, debido a que su coeficiente de regresión parcial es significativamente distinto de cero al 5 %.

Variables introducidas/eliminadas ^a			
Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	PSR	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
2	PSA	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
3	H	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
4	D	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
a. Variable dependiente: ICD			

Tabla 20. Variables introducidas/eliminadas

Resumen del modelo

En el cuadro resumen del modelo se enseña los modelos creados a partir del método paso sucesivos. Fueron generados cuatro modelos, enumerados de manera ascendente de acuerdo a los valores del R, R^2 y número de variables incorporados (Tabla 21)

Resumen del modelo ^e					
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
1	.575 ^a	.331	.314	.23885	2.087
2	.800 ^b	.641	.622	.17732	
3	.928 ^c	.861	.850	.11158	
4	.970 ^d	.941	.935	.07369	
a. Variables predictoras: (Constante), PSR					
b. Variables predictoras: (Constante), PSR, PSA					
c. Variables predictoras: (Constante), PSR, PSA, H					
d. Variables predictoras: (Constante), PSR, PSA, H, D					
e. Variable dependiente: ICD					

Tabla 21. Resumen del modelo

El modelo uno incorpora una variable predictora (PSR), sin embargo, los valores de R y R^2 son inferiores ($R = 0.575$ y $R^2 = 0.331$) a lo esperado, es decir con una sola variable, únicamente se explica el 33.1 % de la varianza. Caso contrario

ocurre con el modelo cuatro al incorporar cuatro variables predictoras (PSR, PSA, H, D), los valores de R y R^2 aumentan ($R= 0.970$ y $R^2= 0.941$), siendo este el modelo con el mejor ajuste, ya que explica un 94.1 % de la varianza de la variable dependiente.

En la misma tabla de resumen del modelo encontramos la respuesta del estadístico de Durbin-Watson, con un valor de 2.087. El valor se encuentra en el rango de 1-3, el cual indica que se acepta el supuesto de independencia de errores.

Resumen del ANOVA

La tabla de resumen del ANOVA (Tabla 22) se muestra los valores de los modelos que fueron obtenidos en cada paso. Los tres modelos presentan valores de $P<0.001$, es decir, los modelos mejoran significativamente en cada paso.

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1.129	1	1.129	19.793	.000 ^b
	Residual	2.282	40	.057		
	Total	3.411	41			
2	Regresión	2.185	2	1.092	34.746	.000 ^c
	Residual	1.226	39	.031		
	Total	3.411	41			
3	Regresión	2.938	3	.979	78.662	.000 ^d
	Residual	.473	38	.012		
	Total	3.411	41			
4	Regresión	3.210	4	.803	147.789	.000 ^e
	Residual	.201	37	.005		
	Total	3.411	41			

a. Variable dependiente: ICD
b. Variables predictoras: (Constante), PSR
c. Variables predictoras: (Constante), PSR, PSA
d. Variables predictoras: (Constante), PSR, PSA, H
e. Variables predictoras: (Constante), PSR, PSA, H, D

Tabla 22. Resumen del ANOVA

El modelo cuatro presenta un valor estadístico de $F= 147.789$ que contrasta la hipótesis de que el valor poblacional de R^2 en cada paso es cero. Es decir, el valor del R^2 obtenido es significativamente distinta de cero en el primer paso, así como

también en los pasos sucesivos ($P < 0.001$). Por lo tanto, el modelo cuatro mejora significativamente la predicción de la variable dependiente, ya que se tiene una significancia por debajo de 0.05 ($F = 147.789$, $P < 0.001$).

Coeficientes de regresión parcial

En la tabla de coeficientes (Tabla 23) contiene la información necesaria para la construcción de la ecuación de regresión en cada paso. Las primeras columnas recogen el valor de los coeficientes de regresión parcial (B) y su error típico. Las dos últimas columnas muestran el estadístico t y el nivel crítico (Sig) obtenidos al contrastar las hipótesis de que los coeficientes de regresión parcial valen cero en la población, es decir, un nivel crítico por debajo de 0.05 indica que la variable contribuye significativamente a mejorar la calidad del modelo de regresión.

Coeficientes ^a							
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.	Estadísticos de Colinealidad	
	B	Error típ.	Beta			Tolerancia	FIV
1	(Constante)	-.590	.229				
	PSR	.435	.098	.575	4.449	.000	1.000
2	(Constante)	-1.353	.215				
	PSR	.441	.073	.584	6.082	.000	1.000
	PSA	.159	.027	.556	5.795	.000	1.000
3	(Constante)	-.825	.151				
	PSR	.402	.046	.532	8.745	.000	.988
	PSA	.228	.019	.798	11.745	.000	.791
	H	-.026	.003	-.531	-7.778	.000	.782
	(Constante)	-.941	.101				
	PSR	.431	.031	.571	14.080	.000	.969
4	PSA	.132	.019	.461	7.059	.000	.373
	H	-.036	.003	-.752	-13.713	.000	.530
	D	.152	.022	.560	7.080	.000	.255

a. Variable dependiente: ICD

Tabla 23. Coeficientes de regresión

El modelo selecto para estimar la variable dependiente es el número cuatro (Tabla 17), por lo tanto, el modelo queda construido de la siguiente manera:

$$y = 0.431X_1 + 0.132X_2 - 0.036X_3 + 0.152X_4 + E$$

Dónde:

y: Índice de Calidad de Dickson

X₁: Peso seco radicular

X₂: Peso seco aéreo

X₃: Altura

X₄: Diámetro

5.5.2. *Quercus rubra*

5.5.2.1. Índice de Robustez

Prueba de normalidad Test de Shapiro-Wilk

Al realizarla la prueba de normalidad de la variable IR, arroja un valor de Sig= 0.362, este resultado (Tabla 24) indica que existe suficiente evidencia estadística para decir que los datos de la muestra se distribuyen de manera normal, por lo tanto, se asume que se cumple el supuesto de normalidad y se puede proceder a analizar los datos con estadística paramétrica.

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
IR	.971	42	.362

Tabla 24. Prueba de Test de Shapiro-Wilk

Variables introducidas/ eliminadas

En la tabla 25 se muestran las variables que han sido consideradas para formar parte del modelo y desechadas las que no aportan explicación a la variable

dependiente (IR). En este caso, las variables Diámetro (D), Altura (H) y Longitud Aéreo (LA) son aptas para la construcción del modelo. Esto, debido a que su coeficiente de regresión parcial es significativamente distinto de cero al 5 %.

Variables introducidas/eliminadas ^a			
Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	D	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
2	H	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
3	LA	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).

a. Variable dependiente: IR

Tabla 25. Variables introducidas/eliminadas

Resumen del modelo

En el cuadro resumen del modelo (Tabla 26) se observan que fueron creados tres modelos. El modelo uno incorpora una variable predictora (D), sin embargo, los valores de R y R^2 son inferiores, por lo contrario el modelo tres al incorporar tres variables predictoras (D, H, LA), los valores de R y R^2 aumentan ($R = 0.887$ y $R^2 = 0.787$), siendo este el modelo con el mejor ajuste, ya que explica un 78.7 % de la varianza de la variable dependiente.

En la misma tabla encontramos el valor de Durbin-Watson (2.069), el cual indica que se acepta el supuesto de independencia de errores.

Resumen del modelo ^d					
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
1	.607 ^a	.369	.353	.21524	
2	.861 ^b	.742	.729	.13940	
3	.887 ^c	.787	.770	.12839	2.069

- a. Variables predictoras: (Constante), D
- b. Variables predictoras: (Constante), D, H
- c. Variables predictoras: (Constante), D, H, LA
- d. Variable dependiente: IR

Tabla 26. Resumen del modelo

Resumen del ANOVA

La tabla de resumen del ANOVA (Tabla 27) muestra los valores de los modelos que fueron obtenidos en cada paso. El modelo tres presenta un valor estadístico de $F = 46.705$ que contrasta la hipótesis de que el valor poblacional de R^2 en cada paso es cero. Por lo que el modelo tres mejora significativamente la predicción de la variable dependiente, ya que se tiene una significancia por debajo de 0.05 ($F = 46.705$, $P < 0.001$).

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1.083	1	1.083	23.380	.000 ^b
	Residual	1.853	40	.046		
	Total	2.936	41			
2	Regresión	2.178	2	1.089	56.049	.000 ^c
	Residual	.758	39	.019		
	Total	2.936	41			
3	Regresión	2.310	3	.770	46.705	.000 ^d
	Residual	.626	38	.016		
	Total	2.936	41			
a. Variable dependiente: IR						
b. Variables predictoras: (Constante), D						
c. Variables predictoras: (Constante), D, H						
d. Variables predictoras: (Constante), D, H, LA						

Tabla 27. Resumen del ANOVA

Coeficientes de regresión parcial

En la tabla de coeficientes (Tabla 28) contiene la información para la construcción de la ecuación de regresión lineal. Las primeras columnas recogen el valor de los coeficientes de regresión parcial (B) y su error típico. Las dos últimas columnas

muestran el estadístico t y el nivel crítico (Sig), un nivel crítico por debajo de 0.05 indican que la variable contribuye significativamente a mejorar la calidad del modelo de regresión.

Coeficientes ^a								
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.	Estadísticos de colinealidad	
		B	Error típ.	Beta			Tolerancia	FIV
1	(Constante)	2.205	.361		6.099	.000		
	D	-.382	.079	-.607	-4.835	.000	1.000	1.000
2	(Constante)	2.707	.243		11.118	.000		
	D	-.754	.071	-1.200	-10.586	.000	.515	1.941
	H	.041	.005	.851	7.507	.000	.515	1.941
	(Constante)	2.213	.284		7.780	.000		
3	D	-.715	.067	-1.138	-10.675	.000	.494	2.025
	H	.038	.005	.774	7.170	.000	.482	2.074
	LA	.025	.009	.219	2.824	.008	.935	1.070
a. Variable dependiente: IR								

Tabla 28. Coeficientes de regresión

El modelo para estimar la variable dependiente es el número tres:

$$y = -0.715X_1 + 0.038X_2 + 0.025X_3 + E$$

Dónde:

y: Índice de Robustez

X₁: Diámetro

X₂: Altura

X₃: Longitud aéreo

5.5.2.2. Índice de Calidad de Dickson

Prueba de normalidad Test de Shapiro-Wilk

La prueba de normalidad arrojó un valor de Sig= 0.054 (Tabla 29) e indica que existe suficiente evidencia estadística para decir que los datos de la muestra se distribuyen de manera normal.

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
ICD	.945	42	.054

Tabla 29. Prueba de Test de Shapiro-Wilk

Variables introducidas/ eliminadas

En la tabla 30 se muestran las variables que mejor explican a la variable dependiente (ICD). En este caso, las variables Diámetro (D), Altura (H) Peso seco aéreo (PSA) y Longitud Radicular (LR) son aptas para la construcción del modelo.

Variables introducidas/eliminadas ^a			
Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	PSR	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
2	D	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
3	H	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
4	PSA	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
5	LR	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
a. Variable dependiente: ICD			

Tabla 30. Variables introducidas/eliminadas

Resumen del modelo

En el resumen del modelo (Tabla 31) se observan los modelos que fueron creados. El modelo tres con la incorporación de cinco variables (PSR, D, H, PSA, LR), es el de mejor ajuste ($R = 0.991$ y $R^2 = 0.982$), siendo este el modelo con el

mejor ajuste, ya que explica un 98.2 % de la varianza de la variable dependiente. En la misma tabla encontramos el valor de Durbin-Watson (2.025), el cual indica que se acepta el supuesto de independencia de errores.

Resumen del modelo ^f					
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
1	.851 ^a	.724	.717	.13362	2.025
2	.884 ^b	.781	.770	.12048	
3	.970 ^c	.941	.937	.06327	
4	.990 ^d	.980	.978	.03704	
5	.991 ^e	.982	.980	.03554	
a. Variables predictoras: (Constante), PSR					
b. Variables predictoras: (Constante), PSR, D					
c. Variables predictoras: (Constante), PSR, D, H					
d. Variables predictoras: (Constante), PSR, D, H, PSA					
e. Variables predictoras: (Constante), PSR, D, H, PSA, LR					
f. Variable dependiente: ICD					

Tabla 31. Resumen del modelo

Resumen del ANOVA

En el resumen del ANOVA (Tabla 32) el modelo cinco presenta un valor estadístico de $F = 402.521$ que contrasta la hipótesis de que el valor poblacional de R^2 en cada paso es cero. El modelo mejora significativamente la predicción de la variable dependiente, ya que se tiene una significancia por debajo de 0.05 ($F = 402.521$, $P < 0.001$).

ANOVA ^a					
Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1.873	1	1.873	104.915
	Residual	.714	40	.018	
	Total	2.588	41		
2	Regresión	2.021	2	1.011	69.623
					.000 ^c

	Residual	.566	39	.015		
	Total	2.588	41			
	Regresión	2.435	3	.812	202.783	.000 ^d
3	Residual	.152	38	.004		
	Total	2.588	41			
	Regresión	2.537	4	.634	462.178	.000 ^e
4	Residual	.051	37	.001		
	Total	2.588	41			
	Regresión	2.542	5	.508	402.521	.000 ^f
5	Residual	.045	36	.001		
	Total	2.588	41			
a. Variable dependiente: ICD b. Variables predictoras: (Constante), PSR c. Variables predictoras: (Constante), PSR, D d. Variables predictoras: (Constante), PSR, D, H e. Variables predictoras: (Constante), PSR, D, H, PSA f. Variables predictoras: (Constante), PSR, D, H, PSA, LR						

Tabla 32. Resumen del ANOVA

Coeficientes de regresión parcial

La tabla de coeficientes (Tabla 33) contiene la información para la construcción de la ecuación para el modelo de regresión lineal. El modelo para estimar la variable dependiente es:

$$y = 0.303X_1 + 0.297X_2 - 0.039X_3 + 0.170X_4 - 0.011X_5 + E$$

Dónde:

y: Índice de Calidad de Dickson

X₁: Peso seco radicular

X₂: Diámetro

X₃: Altura

X₄: Peso seco aéreo

X₅: Longitud radicular

Coeficientes ^a							
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.	Estadísticos de colinealidad	
	B	Error típ.	Beta			Tolerancia	FIV
1 (Constante)	-.692	.105		-6.565	.000		
PSR	.269	.026	.851	10.243	.000	1.000	1.000

2	(Constante)	-1.467	.261		-5.628	.000		
	PSR	.294	.025	.930	11.789	.000	.902	1.108
	D	.149	.047	.252	3.194	.003	.902	1.108
3	(Constante)	-1.763	.140		-12.597	.000		
	PSR	.292	.013	.923	22.298	.000	.902	1.109
	D	.376	.033	.638	11.355	.000	.490	2.040
	H	-.025	.002	-.557	-10.170	.000	.515	1.941
4	(Constante)	-1.352	.095		-14.248	.000		
	PSR	.290	.008	.917	37.790	.000	.901	1.110
	D	.299	.021	.507	13.990	.000	.404	2.477
	H	-.040	.002	-.874	-17.893	.000	.222	4.495
	PSA	.172	.020	.461	8.594	.000	.184	5.425
	(Constante)	-1.295	.095		-13.593	.000		
5	PSR	.303	.010	.961	30.361	.000	.488	2.051
	D	.297	.021	.504	14.490	.000	.403	2.481
	H	-.039	.002	-.853	-17.787	.000	.212	4.708
	PSA	.170	.019	.457	8.868	.000	.184	5.434
	LR	-.011	.005	-.063	-2.048	.048	.517	1.935

a. Variable dependiente: ICD

Tabla 33. Coeficientes de regresión

5.5.3. *Eucalyptus camaldulensis*

5.5.3.1. Índice de Robustez

Prueba de normalidad Test de Shapiro-Wilk

La prueba de normalidad arrojó un valor de Sig= 0.160 (Tabla 34) e indica que existe suficiente evidencia estadística para decir que los datos de la muestra se distribuyen de manera normal.

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
IR	.965	48	.160

Tabla 34. Prueba de Test de Shapiro-Wilk

Variables introducidas/ eliminadas

En la tabla 35 se muestran las variables que mejor explican a la variable dependiente (IR). En este caso, las variables Diámetro (D), Altura y Longitud aereo (LA) son aptas para la construcción del modelo.

Variables introducidas/eliminadas ^a			
Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	D	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
2	H	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
3	LA	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
a. Variable dependiente: IR			

Tabla 35. Variables introducidas/eliminadas

Resumen del modelo

En el resumen del modelo (Tabla 36) se observan los modelos que fueron creados. El modelo tres con la incorporación de tres variables (D, H, L), es el de mejor ajuste ($R = 0.994$ y $R^2 = 0.989$), siendo este el modelo con el mejor ajuste, ya que explica un 98.9 % de la varianza de la variable dependiente. En la misma tabla encontramos el valor de Durbin-Watson (1.801), el cual indica que se acepta el supuesto de independencia de errores.

Resumen del modelo ^a					
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
1	.599 ^a	.359	.345	.18099	
2	.994 ^b	.988	.987	.02555	
3	.994 ^c	.989	.988	.02454	1.801
a. Variables predictoras: (Constante), D					
b. Variables predictoras: (Constante), D, H					
c. Variables predictoras: (Constante), D, H, LA					
d. Variable dependiente: IR					

Tabla 36. Resumen del modelo

Resumen del ANOVA

En el resumen del ANOVA (Tabla 37) el modelo tres presenta un valor estadístico de $F = 1287.590$ que contrasta la hipótesis de que el valor poblacional de R^2 en cada paso es cero. El modelo mejora significativamente la predicción de la variable dependiente, ya que se tiene una significancia por debajo de 0.05 ($F = 1287.590$, $P < 0.001$).

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	.845	1	.845	25.793	.000 ^b
	Residual	1.507	46	.033		
	Total	2.352	47			
2	Regresión	2.322	2	1.161	1778.669	.000 ^c
	Residual	.029	45	.001		
	Total	2.352	47			
3	Regresión	2.325	3	.775	1287.590	.000 ^d
	Residual	.026	44	.001		
	Total	2.352	47			

a. Variable dependiente: IR
b. Variables predictoras: (Constante), D
c. Variables predictoras: (Constante), D, H
d. Variables predictoras: (Constante), D, H, LA

Tabla 37. Resumen del ANOVA

Coeficientes de regresión parcial

En la tabla de coeficientes (Tabla 38) contiene la información para la construcción de la ecuación para el modelo de regresión lineal. El modelo estimar la variable dependiente es el 3:

$$y = 0.047X_1 - 0.757X_2 + 0.002X_3 + E$$

Dónde:

y: Índice de Robustez
 X_1 : Diámetro
 X_2 : Altura
 X_3 : Longitud aéreo

Coeficientes ^a						
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	-.575	.211		-2.728	.009
	D	.019	.004	.599	5.079	.000
2	(Constante)	.365	.036		10.214	.000
	D	.048	.001	1.520	59.523	.000
	H	-.754	.016	-1.215	-47.572	.000
3	(Constante)	.373	.034		10.810	.000
	D	.047	.001	1.493	54.675	.000
	H	-.757	.015	-1.219	-49.562	.000
	LA	.002	.001	.046	2.192	.034
a. Variable dependiente: IR						

Tabla 38. Coeficientes de regresión

5.5.3.2. Índice de Calidad de Dickson

Prueba de normalidad Test de Shapiro-Wilk

La prueba de normalidad arrojó un valor de Sig= 0.160 (Tabla 39) e indica que existe suficiente evidencia estadística para decir que los datos de la muestra se distribuyen de manera normal.

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
ICD	.965	48	.160

Tabla 39. Prueba de Test de Shapiro-Wilk

Variables introducidas/ eliminadas

En la tabla 40 se muestran las variables que mejor explican a la variable dependiente: Peso seco aéreo (PSA), peso seco radicular (PSR), Diámetro (D) y Altura (H).

Variables introducidas/eliminadas ^a			
Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	PSA	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
2	PSR	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
3	D	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
4	H	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
a. Variable dependiente: ICD			

Tabla 40. Variables introducidas/eliminadas

Resumen del modelo

En el resumen del modelo (Tabla 41) se observa que el modelo cuatro que incorpora cuatro variables (PSA, PSR, D, H), es el de mejor ajuste ($R = 0.996$ y $R^2 = 0.993$), siendo este el modelo con el mejor ajuste, ya que explica un 99.3 % de la varianza de la variable dependiente. En la misma tabla encontramos el valor de Durbin-Watson (2.007), el cual indica que se acepta el supuesto de independencia de errores.

Resumen del modelo ^e					
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
1	.729 ^a	.531	.521	.14054	
2	.911 ^b	.831	.823	.08537	
3	.935 ^c	.873	.865	.07464	
4	.996 ^d	.993	.992	.01787	2.007
a. Variables predictoras: (Constante), PSA					
b. Variables predictoras: (Constante), PSA, PSR					
c. Variables predictoras: (Constante), PSA, PSR, D					
d. Variables predictoras: (Constante), PSA, PSR, D, H					
e. Variable dependiente: ICD					

Tabla 41. Resumen del modelo

Resumen del ANOVA

En el resumen del ANOVA (Tabla 42) el modelo cuatro presenta un valor estadístico de $F = 1506.169$ que contrasta la hipótesis de que el valor poblacional

de R^2 en cada paso es cero. Por lo tanto, el modelo tres mejora significativamente la predicción de la variable dependiente, ya que se tiene una significancia por debajo de 0.05 ($F= 1506.169$, $P<0.001$).

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1.029	1	1.029	52.102	.000 ^b
	Residual	.909	46	.020		
	Total	1.938	47			
2	Regresión	1.610	2	.805	110.420	.000 ^c
	Residual	.328	45	.007		
	Total	1.938	47			
3	Regresión	1.692	3	.564	101.256	.000 ^d
	Residual	.245	44	.006		
	Total	1.938	47			
4	Regresión	1.924	4	.481	1506.169	.000 ^e
	Residual	.014	43	.000		
	Total	1.938	47			
a. Variable dependiente: ICD						
b. Variables predictoras: (Constante), PSA						
c. Variables predictoras: (Constante), PSA, PSR						
d. Variables predictoras: (Constante), PSA, PSR, D						
e. Variables predictoras: (Constante), PSA, PSR, D, H						

Tabla 42. Resumen del ANOVA

Coefficientes de regresión parcial

La tabla de coeficientes (Tabla 43) contiene la información para la construcción de la ecuación para el modelo de regresión lineal. El modelo para estimar la variable dependiente es el número cuatro:

$$y = 0.306X_1 + 0.636X_2 - 0.019X_3 + 0.304X_4 + E$$

Dónde:

y: Índice de Calidad de Dickson

X_1 : Peso seco aéreo

X_2 : Peso seco radicular

X_3 : Diámetro

X_4 : Altura

Coeficientes ^a						
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	-.207	.085		-2.445	.018
	PSA	.264	.037	.729	7.218	.000
2	(Constante)	-.691	.075		-9.247	.000
	PSA	.255	.022	.705	11.492	.000
	PSR	.699	.078	.548	8.925	.000
3	(Constante)	-.416	.097		-4.292	.000
	PSA	.308	.024	.852	12.950	.000
	PSR	.719	.069	.563	10.463	.000
	D	-.007	.002	-.254	-3.856	.000
	(Constante)	-.744	.026		-28.392	.000
4	PSA	.306	.006	.847	53.768	.000
	PSR	.636	.017	.498	38.015	.000
	D	-.019	.001	-.654	-30.174	.000
	H	.304	.011	.539	26.920	.000

a. Variable dependiente: ICD

Tabla 43. Coeficientes

5.5.4. *Gmelina arborea*

5.5.4.1. Índice de Robustez

Prueba de normalidad Test de Shapiro-Wilk

La prueba de normalidad Sig= 0.054 (Tabla 44) indica que existe suficiente que los datos de la muestra se distribuyen de manera normal.

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
IR	.946	42	.057

Tabla 44. Prueba de Test de Shapiro-Wilk

Variables introducidas/ eliminadas

En la tabla 45 se muestran las variables que explican a la variable dependiente (IR): Altura (H), Diámetro y Longitud Radicular (LR).

Variables introducidas/eliminadas ^a			
Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	H	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
2	D	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
3	LR	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
a. Variable dependiente: IR			

Tabla 45. Variables introducidas/eliminadas

Resumen del modelo

En el resumen del modelo (Tabla 46) se observa que el modelo tres con la incorporación de las variables H, D, LR), es el presenta mejor ajuste ($R = 0.966$ y $R^2 = 0.934$), ya que explica el 93.4 % de la varianza de la variable dependiente. En la misma tabla encontramos el valor de Durbin-Watson (1.906), el cual indica que se acepta el supuesto de independencia de errores.

Resumen del modelo ^d					
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
1	.543 ^a	.295	.277	.26016	1.906
2	.951 ^b	.905	.900	.09666	
3	.966 ^c	.934	.929	.08177	
a. Variables predictoras: (Constante), H					
b. Variables predictoras: (Constante), H, D					
c. Variables predictoras: (Constante), H, D, LR					
d. Variable dependiente: IR					

Tabla 46. Resumen del modelo

Resumen del ANOVA

En el resumen del ANOVA (Tabla 47) el modelo tres presenta un valor estadístico de $F = 178.759$ que contrasta la hipótesis de que el valor poblacional de R^2 en cada paso es cero. El modelo mejora significativamente la predicción de la

variable dependiente, ya que se tiene una significancia por debajo de 0.05 ($F=178.759$, $P<0.001$).

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1.133	1	1.133	16.735	.000 ^b
	Residual	2.707	40	.068		
	Total	3.840	41			
2	Regresión	3.475	2	1.738	185.978	.000 ^c
	Residual	.364	39	.009		
	Total	3.840	41			
3	Regresión	3.586	3	1.195	178.759	.000 ^d
	Residual	.254	38	.007		
	Total	3.840	41			

a. Variable dependiente: IR
b. Variables predictoras: (Constante), H
c. Variables predictoras: (Constante), H, D
d. Variables predictoras: (Constante), H, D, LR

Tabla 47. Resumen del ANOVA

Coeficientes de regresión parcial

En la tabla de coeficientes (Tabla 48) contiene la información para la construcción de la ecuación para el modelo de regresión lineal.

Coeficientes ^a						
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	1.273	.200		6.356	.000
	H	-.163	.040	-.543	-4.091	.000
2	(Constante)	1.532	.076		20.115	.000
	H	-.545	.028	-1.812	-19.256	.000
	D	.038	.002	1.490	15.835	.000
	(Constante)	.837	.183		4.575	.000
3	H	-.530	.024	-1.762	-21.864	.000
	D	.040	.002	1.581	19.118	.000
	LR	.034	.008	.218	4.062	.000

a. Variable dependiente: IR

Tabla 48. Coeficientes de regresión

El modelo para estimar la variable dependiente es el tres:

$$y = -0.530X_1 + 0.040X_2 + 0.034X_3 + E$$

Dónde:

y: Índice de Robustez

X₁: Altura

X₂: Diámetro

X₃: Longitud radicular

5.5.4.2. Índice de Calidad de Dickson

Prueba de normalidad Test de Shapiro-Wilk

La prueba de normalidad Sig= 0.054 indica los datos de la muestra se distribuyen de manera normal (Tabla 49).

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
ICD	.977	42	.557

Tabla 49. Prueba de Test de Shapiro-Wilk

Variables introducidas/ eliminadas

En la tabla 50 se muestran las variables que mejor explican a la variable dependiente (ICD). En este caso, las variables Altura (H) Peso seco radicular (PSR), Diámetro (D), Longitud Radicular (LR) y Peso seco aéreo (PSA) son aptas para la construcción del modelo de regresión lineal.

Variables introducidas/eliminadas ^a			
Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	H	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
2	PSR	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
3	D	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
4	LR	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
5	PSA	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= .050, Prob. de F para salir >= .100).
a. Variable dependiente: ICD			

Tabla 50. Variables introducidas/eliminadas

Resumen del modelo

En el resumen del modelo (Tabla 51) se observan los modelos que fueron creados. El modelo cinco con la incorporación de cinco variables (H, PSR, D, LR, PSA) es el de mejor ajuste ($R = 0.969$ y $R^2 = 0.939$), siendo este el modelo con el mejor ajuste, ya que explica un 93.9 % de la varianza de la variable dependiente. En la misma tabla encontramos el valor de Durbin-Watson (2.009), el cual indica que se acepta el supuesto de independencia de errores.

Resumen del modelo ^f					
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
1	.402 ^a	.161	.141	.23864	2.009
2	.790 ^b	.623	.604	.16196	
3	.924 ^c	.855	.843	.10193	
4	.950 ^d	.903	.893	.08436	
5	.969 ^e	.939	.930	.06789	
a. Variables predictoras: (Constante), H					
b. Variables predictoras: (Constante), H, PSR					
c. Variables predictoras: (Constante), H, PSR, D					
d. Variables predictoras: (Constante), H, PSR, D, LR					
e. Variables predictoras: (Constante), H, PSR, D, LR, PSA					
f. Variable dependiente: ICD					

Tabla 51. Resumen del modelo

Resumen del ANOVA

En el resumen del ANOVA (Tabla 52) el modelo cinco presenta un valor estadístico de $F = 110.692$ el cual mejora significativamente la predicción de la variable dependiente, ya que se tiene una significancia por debajo de 0.05 ($F = 110.692$, $P < 0.001$).

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	.439	1	.439	7.704	.008 ^b
	Residual	2.278	40	.057		
	Total	2.717	41			
2	Regresión	1.694	2	.847	32.284	.000 ^c
	Residual	1.023	39	.026		
	Total	2.717	41			
3	Regresión	2.322	3	.774	74.500	.000 ^d
	Residual	.395	38	.010		
	Total	2.717	41			
4	Regresión	2.453	4	.613	86.189	.000 ^e
	Residual	.263	37	.007		
	Total	2.717	41			
5	Regresión	2.551	5	.510	110.692	.000 ^f
	Residual	.166	36	.005		
	Total	2.717	41			

a. Variable dependiente: ICD
b. Variables predictoras: (Constante), H
c. Variables predictoras: (Constante), H, PSR
d. Variables predictoras: (Constante), H, PSR, D
e. Variables predictoras: (Constante), H, PSR, D, LR
f. Variables predictoras: (Constante), H, PSR, D, LR, PSA

Tabla 52. Resumen del ANOVA

Coeficientes de regresión parcial

En la tabla de coeficientes (Tabla 53) contiene la información para la construcción de la ecuación para el modelo de regresión lineal.

Coeficientes ^a						
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	.017	.184		.094	.926
	H	.102	.037	.402	2.776	.008
2	(Constante)	-1.715	.280		-6.131	.000
	H	.213	.030	.840	7.187	.000
	PSR	1.018	.147	.809	6.917	.000
3	(Constante)	-1.485	.179		-8.321	.000
	H	.395	.030	1.563	13.187	.000
	PSR	.801	.097	.636	8.274	.000
	D	-.020	.003	-.958	-7.776	.000
4	(Constante)	-.975	.190		-5.139	.000
	H	.382	.025	1.511	15.290	.000
	PSR	1.110	.108	.882	10.309	.000
	D	-.021	.002	-1.004	-9.788	.000
	LR	-.050	.012	-.380	-4.298	.000
5	(Constante)	-.858	.155		-5.548	.000
	H	.369	.020	1.458	18.145	.000
	PSR	1.031	.088	.819	11.676	.000
	D	-.040	.004	-1.870	-9.087	.000
	LR	-.051	.009	-.382	-5.370	.000
	PSA	.454	.099	.896	4.597	.000

a. Variable dependiente: ICD

Tabla 53. Resumen del ANOVA

El modelo para estimar la variable dependiente es número cinco:

$$y = 0.369X_1 + 1.031X_2 - 0.040X_3 - 0.051X_4 + 0.454X_5 + E$$

Dónde:

y: Índice de Calidad de Dickson

X₁: Altura

X₂: Peso seco radicular

X₃: Diámetro

X₄: Longitud radicular

X₅: Peso seco aéreo

VI. CONCLUSIÓN

De acuerdo a las evaluaciones de producción de plantas realizadas en los viveros de la Unión de Silvicultores y Empresarios Forestales de Tamaulipas A. C., en la producción de plantas del año 2013 y 2014 para el vivero Carlos Diez, de acuerdo a los parámetros morfológicos de los índices de calidad de planta se determinó que las especies de *P. pseudostrobus* y *Q. rubra*, al momento de salir del vivero son de calidad alta en las dos producciones, lo cual indican que son plantas que garantizan sobrevivencia, adaptación y crecimientos adecuados en plantaciones o reforestación que se realicen en campo.

La especie de *G. arborea* producida en el año 2013 para el vivero Carlos Diez y producción 2014 para el vivero de Aldama, de acuerdo con los parámetros morfológicos, fue determinada como de calidad media, y para las producciones del año 2014 para Carlos Diez y 2015 del vivero Aldama fueron de calidad alta. En el caso de *T. grandis* que se produjo en el vivero de Aldama, en la producción del 2014 fue de calidad media y de calidad alta en el año 2015. Por consiguiente, las plantas de calidad media son aptas para establecerse en sitio de plantación, pero no garantiza una buena supervivencia y las de calidad alta son plantas que indican sobrevivencia en campo.

La especie de *E. camaldulensis* producida en los dos viveros, de acuerdo con los parámetros morfológicos, fueron determinadas de calidad baja en las dos producciones; 2013-2014 para vivero de Carlos Diez y 2014-2015 para vivero Aldama. En este sentido la baja calidad se debe a que existe una desproporción en la altura y el diámetro de la planta, es decir, la planta es más esbelta y menos fuerte, el cual la hace más propensa a sufrir por daños ocasionados por los vientos. De igual forma la baja calidad se debe a que la relación del crecimiento de la parte aérea y de la raíz se encuentra desproporcionada el cual representa un mal balance entre el área de transpiración y el área de absorción de agua, el cual la hace menos propensa a garantizar sobrevivencia en campo.

La comparación de medias de la variable Índice de calidad de Dickson (ICD) de las producciones 2013 y 2014 del vivero de Carlos Diez dieron como resultados que las especies de *P. pseudostrobus* y *G. arborea* no presentan diferencias significativas entre una producción y otra, debido a que el sistema de producción que se manejó en ambos años es la misma. Aunque para *P. pseudostrobus* en las dos producciones la calidad fue alta y para *G. arborea* fueron de calidad media.

Para las especies de *Q. rubra* y *E. camaldulensis*, en la comparación de medias en las producciones del 2013 y 2014 resultaron que si existen diferencias significativas, aunque para *Q. rubra* la marcada diferencia se atribuye a que en la segunda evaluación mejoró la calidad de planta. En el caso de *E. camaldulensis* la diferencia es significativa debido a que la primera producción fue de calidad media y la segunda de calidad baja.

Para el vivero de Aldama la comparación de las producciones a través de las medias de la variable Índice de calidad de Dickson (ICD) dio como resultados que las especies *E. camaldulensis*, *G. arborea* y *T. grandis* presentaron diferencias significativas en las producciones del año 2014 y 2015. Sin embargo las diferencias para la especie de *E. camaldulensis* es que en la primera evaluación el ICD fue de calidad baja y en la segunda mejoró el resultado al presentar calidad media. Para la especie de *G. arborea* también la diferencia es que la producción del año 2013 fue baja y en el 2015 mejoró al mantenerse en calidad media. Y para *T. grandis* la diferencia es debido a que la producción del año 2014 fue de calidad baja y en el año 2015 la producción fue de calidad alta. Por lo anterior se obtiene que en el vivero Aldama la producción del año 2015 fue mejor respecto a las plantas producidas en el 2014, esto debido a que pasaron más tiempo en vivero en reacondicionamiento.

Los modelos de regresión lineal múltiple generados permiten estimar los índices de calidad de planta (ICD e IR) a partir de las variables altura (H), diámetro del cuello de la raíz (D), longitud aérea (LA), longitud radicular (LR), peso seco aéreo

(PSA) y peso seco radicular (PSR). Los modelos seleccionados presentan variables predictoras que son de fácil medición y su aplicación y uso es exclusivo para plantas en etapa de preacondicionamiento en vivero y antes de que las plantas sean llevados a sitios de plantación o reforestación.

VII. REFERENCIAS

- Ansorena, J. 1994. Sustratos: propiedades y caracterización. Editorial Mundi Prens. Madrid, España. 172 p.
- Chávez, E. y W. Fonseca. 1991. Teca árbol de uso múltiple en América Central. Ed. CATIE, Informe Técnico Núm. 179. Turrialba, Costa Rica. 47 p.
- Cetina, A. V., González, H. V. y Vargas, H. J. 1999. El manejo en vivero de *Pinus greggii* Engelm. y la calidad de planta. Agrociencia. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 423 p.
- Dickson, A. A., LEAF, L. and Hosner, J. F. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. For. Chron. 36 (1): 10-13.
- Fonseca, W. 2000. La aplicación de fertilizantes químicos en (*Tectona grandis* Linn. F.) en Guanacaste, Costa Rica. In: Consejo Nacional de Rectores, Oficina de Planificación de la Educación Superior. Taller de Nutrición Forestal. San José, Costa Rica. pp: 39-44.
- García, A. A. y E. M. Gonzales. 2003. Pináceas de Durango. Segunda edición. Comisión Nacional Forestal. Zapopan, Jalisco México. 187 p.
- Haller, J. M. 1992. *Quercus virginiana*. Southern live oak. Arbor Age. 12(5): 30.
- INEGI. 2005. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de las Cartas de Climas, Precipitación Total Anual y Temperatura Media Anual 1:1 000 000.
- INEGI. 2005. Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, Escala 1:250 000, Serie II (Continuo Nacional).

INEGI. 2005. Conjunto de Datos Vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación Serie III Escala 1:250 000.

Nicolas, J.P. y Y. Roche-Hamon. 1988. El Vivero. A. Rodriguez R. y F. Toribio M. (traductores). Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 243 p.

Sánchez, S., y O. Murillo. 2004. Desarrollo de un método para controlar la calidad de producción de plántulas en viveros forestales: estudio de caso con Ciprés (*Cupressus lusitancia*). Agronomía Costarricense 28(2):95-106.

Landis, T.D., R.W. Tinus and J.P. Barnett. 1998. Seedling propagation. Vol. 6. Container Tree Nursery Manual. USDA. Forest Service. Washington, D.C. 166 p.

Landis, T.D., R.W. Tinus, S.E. McDonald, and J.P. Barnett. 1995. Nursery planning, development, and Management. Vol. 1. Container Tree Nursery Manual. USDA. Forest Service. Washington, D.C. 188 p.

Pastor N., S. 2000. Utilización de Sustratos en Vivero. Universidad de Lleida. Terra 17(3):231-235.

Heiskanen, J. 1993. Favourable water and aeration conditions for growth media used in containerized tree seedling production: A review. Scan. Journal Forest Res. (8):337-358.

García C., O., G. Alcántar G., R.I Cabrera, F. Gavi R. y V. Volke H. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. Terra 19(3): 249-258.

- Lopushinsky, W. 1990. Seedling moisture status. *In*: Target Seedling Symposium: Proceedings, combined meeting of the Western Forest Nursery Associations. August 13-17, 1990. Gen. Tech. Rep. RM-200. USDA, Forest Service. Fort Collins, CO. U.S.A. pp: 123-128.
- Fernández, H., J. D. 2002. Análisis de semillas y calidad del crecimiento en planta de *Bursera cuneata* (Schlecht.) Engl., en sustratos diferentes. Tesis de maestría. Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca No. 23. Xoxocotlán, Oaxaca, México. 117 p.
- Prieto, R., J. A., Vera, C., G. y Merlín, B., E. 1999. Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación. In: Tecnología para la producción de planta en viveros de la Sierra Madre Occidental. Folleto Técnico No. 12. Campo Experimental Valle del Guadiana. INIFAP-SAGAR. Durango. México. 23 p.
- Prieto, R., J., Sigala, R., J., Pinedo, L., S., García, R., J. L., Madrid, A., R. E., García, P., J. L. y Mejía, B., J. M. 2009. Calidad de planta en los viveros forestales del Estado de Durango. INIFAP. CIRNOC. Campo Experimental Valle del Guadiana. Folleto Num. 30. Durango, México. 81 p.
- Prieto, J.A., García, J.L., Mejía, J.M., Huchin, A.S., & Aguilar, J.L. (2009). Producción de planta del Género *Pinus* en vivero en clima templado frío. Publicación Especial Núm. 28. Campo Experimental Valle del Guadiana. Centro de Investigación Regional Norte Centro. INIFAP. Durango, Dgo. México. 47 P.
- Prieto, J.A., & Sáenz, J. T. (2011). Indicadores de la calidad de planta en viveros de la sierra madre occidental. Libro Técnico Núm. 3. Campo Experimental

Valle del Guadiana. Centro de Investigación Regional Norte Centro. INIFAP. Durango, Dgo. México. 212 P.

Prieto R, J.A., P. A. Domínguez C., E. H. Cornejo O., J. de J. Návar C., y J. Jiménez P. 2004. Efecto de la fertilización en la producción de planta de *Pinus engelmannii* Carr. en vivero. Revista Ciencia Forestal en México 27: 79-94.

P&C Maderas. 2013. Catalogo *Eucalyptus camaldulensis*. 5 p. Rojas, F. 2001. Viveros Forestales. San José, C.R. EUNED. 248 p.

Quiroz, I., García, E., González, M., Chung, P., Casanova, K & Soto, H. (2009). Calidad de planta y certificación. *Centro tecnológico de la planta forestal*. 5 p.

Rojas, F. y O. Murillo. 2004. Manual para productores de Melina en Costa Rica. Cartago. 314 p.

Rodríguez, T., D. A. 2008. Indicadores de calidad de planta forestal. Mundi-Prensa. UACH-ANCF. México, D. F. 156 p.

Salisbury F.B. y W. Ross. 1994. Difusión, termodinámica y potencial hídrico. *In: Fisiología Vegetal*. F. Salisbury, C. Ross (eds). Grupo Editorial Iberoamericano, México, D.F. pp: 29-46.

Toral, I., M. 1997. Concepto de calidad de plantas en viveros forestales. Documento Técnico 1. Programa de Desarrollo Forestal. SEDER. Fundación Chile, Consejo Agropecuario de Jalisco, México.

Wightman, K., y B. Santiago C. 2003. La cadena de la reforestación y la importancia en la calidad de las plantas. *Foresta Veracruzana* 5 (1):45-51.

Yáñez E., L. 2004. Dendrología. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.157 p.